tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 40 - nr. 1/2 - 1975

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Postbus 39, Leidschendam. Gironummer 94746 t.n.v.
Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

Het Genootschap stelt zich ten doel in Nederland en de Overzeese Rijksdelen de wetenschappelijke ontwikkeling en de toepassing van de elektronica en de radio in de ruimste zin te bevorderen.

Lidmaatschap

Voor lidmaatschap wende men zich tot de secretaris. Het lidmaatschap staat -behoudens ballotage- open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt.

Studenten aan universiteiten en hogescholen komen bij gevorderde studie in aanmerking voor een juniorlidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie. Op aanvraag kan deze reductie ook aan anderen worden verleend.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt zesmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs die publicatie van hun wetenschappelijk werk in het tijdschrift wensen, wordt verzocht in een vroeg stadium kontakt op te nemen met de voorzitter van de redactie commissie.

De teksten moeten, getypt op door de redactie verstrekte tekstbladen, geheel persklaar voor de offsetdruk worden ingezonden.

De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt f 40,--. Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Tarieven en verdere inlichtingen over advertenties worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

DE EXAMENS

De examens door het Genootschap ingesteld en afgenomen zijn:

a. op lager technisch niveau:"Elektronica monteur NERG"
b. op middelbaar technisch niveau: Middelbaar Elektronica Technicus NERG"
c. voor het oude examen "Elektronica Technicus NERG" kan volgens de beeindigingsregeling nog slechts tot en met 1975 worden ingeschreven.

Brochures waarin de exameneisen en het examenreglement zijn opgenomen kunnen schriftelijk worden aangevraagd bij de Administratie van de Examencommissie.

Voor deelname en inlichtingen wende men zich tot de Administratie van de Examencommissie NERG, Genemuidenstraat 279, den Haag, gironummer 6322 te den Haag.

Iets over de ontwikkeling en de werkzaamheden van de VDEN, de N.V. KEMA, de N.V. SEP, de VEEN en de N.V. GKN.

Ing. P.C.J. Vael

Omstreeks het begin van deze eeuw werden hier en daar elektriciteitsbedrijven opgericht. Daar zich vanzelfsprekend voor alle bedrijven dezelfde problemen voordeden (t.a.v. de opwekking en het transport van de elektriciteit, het vaststellen van de tarieven e.d.) ging men in 1913 over tot het oprichten van de

I. VDEN

De Vereniging van Directeuren van Electriciteitsbedrijven in Nederland is de oudste organisatie op het gebied van de elektriciteitsvoorziening in ons land.
De VDEN, waarvan ca. 45 directeuren van de grootste elektriciteitsbedrijven lid zijn, kan worden beschouwd als een coöperatief raadgevend ingenieursbureau.

Nederland heeft een gedifferentieerde gezagsverdeling op het gebied van de elektriciteit. Elke provincie - of een groot gedeelte van een provincie - heeft zijn eigen elektriciteitsproduktiebedrijf met een eigen bestuur. Voor het treffen van maatregelen en het nemen van beslissingen die in het landsbelang zijn, is het onderling overleg een noodzaak. De VDEN heeft dan ook ten doel de gemeenschappelijke belangen van de elektriciteitsproduktiebedrijven in Nederland te behartigen en te bevorderen.

Tijdens en na de eerste wereldoorlog nam de keuring van elektrotechnisch materiaal een belangrijke plaats in. In de loop der jaren namen de werkzaamheden ten aanzien van de opwekking, voortgeleiding en distributie van elektriciteit zodanig toe, dat belangrijke onderdelen in handen van gespecialiseerde organisaties werden gelegd, o.m. in die van de N.V. KEMA, VEEN.

II. N.V. KEMA

De N.V. KEMA, de naamloze vennootschap tot Keuring van Elektrotechnische Materialen is opgericht op 27 oktober 1927.

De elektriciteitsbedrijven beoordeelden tot dan toe de deugdelijkheid van de installatiematerialen zelf. Dit leidde tot een zekere spreiding in de eisen, hetgeen zowel voor de elektriciteitsbedrijven als voor de handel en industrie bezwaren gaf. Vooral toen het onderzoek van huishoudelijke toestellen aan de orde kwam, kon de bestaande toestand niet worden gehandhaafd. Daarom werd besloten om te komen tot een gemeenschappelijk laboratorium, waarvan de investeringskosten gedragen worden door de elektriciteitsbedrijven in de vorm van aandelen.

Het werk door de N.V. KEMA verricht is zeer omvangrijk en kan in een vijftal categorieën worden onderscheiden, nl.:

- de keuring van machines, toestellen en materialen, die door de elektriciteitsbedrijven worden gebruikt bij de inrichting van centrales en bij de voortgeleiding van elektriciteit, o.a. generatoren, transformatoren, kabels, isolatoren enz. (hoogspannings- en kortsluitlaboratorium).
- de keuring van toestellen en materialen die in de installaties van de verbruikers worden gebruikt, bv. leidingen, installatiemateriaal (laboratorium voor installatiematerialen) en huishoudelijke toestellen, gloeilampen, enz. (laboratorium voor huishoudelijke toestellen)
- de controle op de ijking van kWh-meters
- het chemisch onderzoek van ketelwater, brandstof, olie en corrosieproblemen
- algemene research. Een staf van deskundigen wijdt zich aan de zg. fundamentele research op elektrotechnisch gebied, waarvoor een speciaal speurwerkfonds is geschapen.

Tot de hier bedoelde groep van werkzaamheden behoort ook het kernenergetisch werk, waarmede reeds in 1946 door de KEMA een aanvang is gemaakt. In het bijzonder is aandacht besteed aan de ontwikkeling van een homogene suspensiereactor, in samenwerking met Reactor Centrum Nederland en Euratom. Momenteel wordt een proefinstallatie beproefd met een vermogen van 1000 kWth naast het kernreactorlaboratorium op het terrein van de Arnhemse instellingen.

De KEMA werkt voor:
- elektriciteitsbedrijven
- regeringsdiensten
- industrieën in binnen- en buitenland.

III. N.V. SEP

De derde instelling die uit de samenwerking tussen de bedrijven is voortgekomen is de N.V. SEP, de N.V. Samenwerkende Elektriciteits-Produktiebedrijven. De centrales in Nederland zijn gekoppeld door middel van een koppelnet dat zich over het gehele land uitstrekt. Het koppelnet biedt als voordeel de hulpverlening aan andere centrales in geval van storingen aan eigen produktiemiddelen en een besparing op het reservevermogen dat in de centrales opgesteld moet zijn. Bovendien is het mogelijk op economische basis elektrische energie-uitwisselingen tot stand te brengen.

In het landelijk centrum van de SEP in Arnhem wordt het koppelnet bewaakt en bestuurt op een zodanige wijze dat een ongestoorde energievoorziening aan de verbruikers zoveel mogelijk in stand wordt gehouden.

De spanning van het oude koppelnet was 150 kV, terwijl het in 1970 in gebruik genomen koppelnet een spanning heeft van 380 kV in het zuid-westen van het land en 220 kV in het noord-oosten van het land.

IV. VEEN

De vierde instelling is de VEEN, de Vereniging van Exploitanten van Electriciteitsbedrijven in Nederland. In tegenstelling tot de VDEN waarbij slechts een aantal grote produktiebedrijven is aangesloten, zijn op één na alle openbare elektriciteitsbedrijven lid van de VEEN. De VEEN concentreert haar werkzaamheden op de behandeling van economische zaken. Enkele van de uitgebreide werkzaamheden die de VEEN verricht betreffen de vraagstukken op het gebied van de tarieven, de normalisatie en de voorlichting aan de gebruikers. De vereniging beschikt over een modern geoutilleerd voorlichtingsgebouw in Arnhem. In dit gebouw wordt voorlichting gegeven aan leraressen op huishoudkundig gebied en aan degenen die werkzaam zijn op de voorlichtingsafdelingen van de bedrijven om op hun beurt hun kennis door te geven aan de verbruikers.

V. N.V. GKN

Als vijfde instelling is er de N.V. GKN, de Gemeenschappelijke Kernenergiecentrale Nederland, opgericht in februari 1965.

Aan het einde van de vijftiger jaren hadden de elektriciteitsproduktiebedrijven het plan om een kernenergiecentrale te laten bouwen met een vermogen van 150 MW. Dit plan is verworpen omdat een 150 MW eenheid veel te oneconomisch was en de elektriciteitsbedrijven en de Nederlandse industrie onvoldoende kennis zouden opdoen met een door een buitenlandse firma geleverd "sleutelvaardig" project.

Teneinde toch een aansluiting met de kernenergie te behouden, werd besloten een kleiner project van 54 MW onder handen te nemen en dit geheel zelf te coördineren. Zodoende kon een maximum aan ervaring worden opgedaan met het aanvragen van de diverse vergunningen, met het ontwerp, met de fabricage en keuringen, met de bouw en tenslotte met het uittesten en het bedrijf van kernenergiecentrales.

De N.V. GKN is de beheerder van de kernenergiecentrale te Dodewaard. Het doel van deze centrale is ervaring op te doen met de bouw en het bedrijf van kernenergiecentrales en om de Nederlandse industrie in de gelegenheid te stellen ervaring op te doen met de bouw van nucleaire componenten.

Voor de bouw, die 140 miljoen gulden heeft gekost, hebben de Nederlandse regering en Euratom in de kosten bijgedragen.

De elektriciteitsproduktiebedrijven hebben een deel van het geld ter beschikking gesteld en een deel van het geld zal tijdens de levensduur van de centrale terugverdiend worden.

Personeel

Per 1 januari 1974 waren bij de Arnhemse instellingen 1 178 personen in dienst waarvan 70 bij de SEP, 72 bij de GKN en 17 bij de VEEN.
Het merendeel, ca. 80% van het personeel heeft een technische opleiding als achtergrond waaronder een derde met een HTS-opleiding en een 150-tal academici.

Budgetten

Het totaalbudget van de Arnhemse instellingen bedroeg over het jaar 1974 ƒ 163 414 000,--.

Voordracht gehouden op 5 september 1974 bij de KEMA te Arnhem, op een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 239) en de Benelux Section IEEE.

HET SEP 7 GHz STRAALVERBINDINGSNET, OPZET EN UITWERKING m.b.t. APPARATUUREIGENSCHAPPEN EN NETCONFIGURATIE

Ing. E. van Ginkel

1. Ontstaan van het straalverbindingsnet

Bij het besluit van de Samenwerkende Elektriciteits-Produktiebedrijven tot de bouw van een 380 kV-hoogspanningskoppelnet in 1966 werd ook het aspect van de verbindingen met het Landelijk Centrum in Arnhem betrokken. Tot die tijd bestonden er kabelverbindingen tussen Arnhem en de deelnemende bedrijven ten behoeve van meldingen en metingen. Het was echter de bedoeling om de te bouwen 380 kV-transformatorstations ook vanuit Arnhem te gaan bedienen.

Op grond van de ervaringen met kabelverbindingen werd gezocht naar een ander medium waarvan de storingsgevoeligheid een geheel van kabel verschillend karakter had. Dit heeft geleid tot straalverbindingen, waar uitvallen worden veroorzaakt door fading en apparatuurdefecten. Ter illustratie zijn in afb. 1 de uitvaltijden van de straal- en kabelverbindingen gegeven voor de jaren 1971 t/m 1973, hieruit blijken de verschillen in storingskarakter en de winst die de SEP met straalverbindingen heeft bereikt.

2. Opbouw en frequentiekeuze

In nauw overleg met de PTT is de opbouw van het net vastgelegd en de frequentiekeuze bepaald.

2.1. Voor de opbouw van het net is uitgegaan van een maximaal gebruik van PTT-torens voor de benodigde relaisstations in de verbindingen tussen a) Arnhem en de 380 kV-onderstations; alsmede b) de 380 kV-onderstations met elkaar. Hierdoor wordt de bewaking van de SEP-straalpaden tussen PTT-torens automatisch in de reeds bestaande PTT-routine opgenomen. Tevens is hiermede bereikt dat, landelijk bezien, het aantal zônes waarin de toegestane bouwhoogte wordt beperkt als gevolg van een aanwezig straalpad, zo min mogelijk toeneemt. Deze toename (onder SEP-bewaking) is beperkt gebleven tot de straalpaden tussen PTT-torens en SEP-stations, dan wel tussen SEP-stations onderling.

ONDERBREKINGSTIJD VAN DE VERBINDINGEN TUSSEN LANDELIJK CENTRUM EN DE 380kV-ONDERSTATIONS

Σ voor het jaar	t.g.v. fading in straalverb.	t.g.v. kabelstoringen
1971	311 min. voor 3259 uitv.	282 uur voor 7 uitv.
1972	297 min. voor 1255 uitv.	369 uur voor 7 uitv.
1973	76 min. voor 1762 uitv.	96,5 uur voor 5 uitv.

Op deze wijze is 525,2 km straalpad qua bewaking opgedeeld in 364,1 km onder PTT-bewaking en 161,1 km onder SEP-bewaking.

Voor de routering is een systeem gekozen waarbij steeds twee 380 kV-onderstations via één straalverbinding met Arnhem zijn verbonden. Op eenvoudige wijze was het hierbij mogelijk om de verbindingen tussen de SEP-stations onderling in deze stations met behulp van filters in de basisband te realiseren. De uiteindelijke routering is thans als volgt:

A voor de 380 kV-stations Diemen en Krimpen de verbinding: Arnhem-Ugchelen-Hilversum-Diemen-Hilversum-Lopik-Krimpen

B voor de 380 kV-stations Geertruidenberg en Eindhoven de verbinding: Arnhem-Lopik-Loon op Zand-Geertruidenberg-Loon op Zand-Mierlo-Eindhoven

C voor de 380 kV-stations Dodewaard, Maasbracht en Stalen de verbinding: Arnhem-Dodewaard-Megen-Mierlo-Roermond-Maasbracht-Stalen (België)

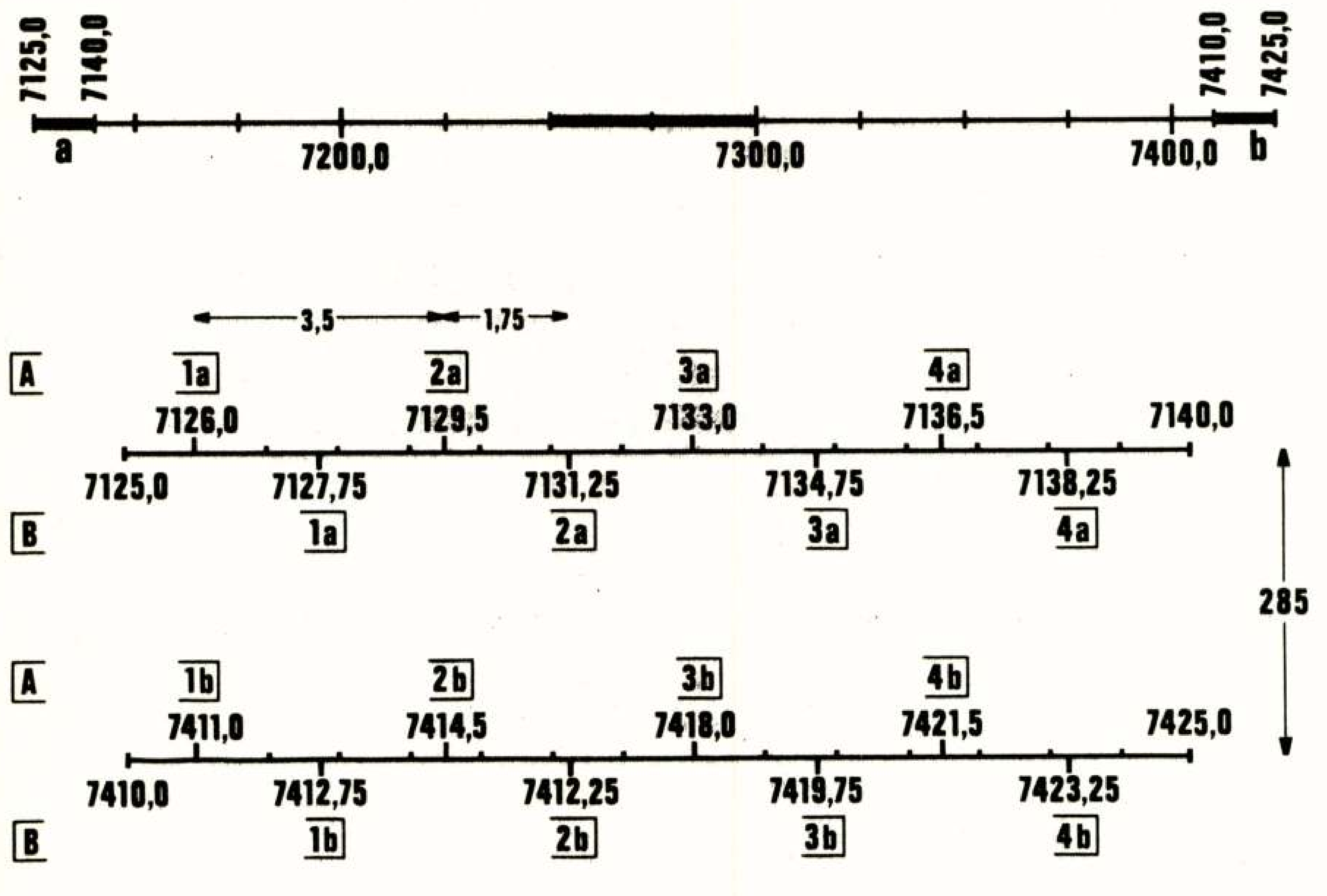
D voor het 380 kV-station Ens de verbinding: Arnhem-Ugchelen-Zwollerkerspel-Ens

Buiten de hiervoor genoemde verbindingen bestaat ook nog de verbinding Krimpen-Geertruidenberg als enige, apart voor dit doel gebouwde dwarsverbinding.

2.2. Frequentiekeuze

Op grond van internationale overeenkomsten ten aanzien van het gebruik van frequentiebanden, dienen de toe te passen frequenties in de band van 7125-7425 MHz te liggen. Terwille van een zo efficiënt mogelijk gebruik van deze band in verband met breedband toepassingen zijn aan de SEP de deelbanden 7125,0-7140,0 MHz en 7410,0-7425,0 MHz toegewezen.
In deze 2x15 MHz zijn 4 frequentieparen met een afstand van 3,5 MHz onder te brengen. Daar dit te weinig bleek is tevens gebruik gemaakt van een "verschoven raster" eveneens met 3,5 MHz kanaalafstand doch 1,75 MHz verschoven t.o.v. het eerstgenoemde raster. Het 1,75 MHz raster heeft echter consequenties op de apparatuureigenschappen voor wat betreft polarisatie-ontkoppeling en frequentiestabiliteit.

FREQUENTIERASTER SEP-STRAALVERBINDINGEN (MHz)



De kanalen in de beide deelbanden liggen op een afstand van 285 MHz van elkaar, hierdoor is de mogelijkheid gegeven om in de te gebruiken zend-ontvangers tussen de zend- en ontvangfrequentie een vaste afstand van 285 MHz toe te passen.

3. Bescherming tegen uitval van de verbindingen ten gevolge van fading en apparatuurdefecten

Om te komen tot een maximale bedrijfszekerheid, waarin opgenomen een bescherming tegen apparatuurdefecten en uitvallen als gevolg van fading is het net opgezet met dubbele zend-ontvangers werkend in een space-diversity systeem met een verticale afstand tussen de antennes van 5 m overeenkomende met ca. 120 λ tot 8,40 m in Arnhem overeenkomende met 200 λ hetgeen, naar de ervaring heeft bewezen, voldoende geacht kan worden. Van frequency-diversity, waar een frequentieverschil tussen de beide ontvangstsignalen van minimaal 5% wordt verlangd, kon geen gebruik worden gemaakt in verband met de te geringe frequentieverschillen in de toegewezen deelbanden.

De praktische opzet van een verbinding tussen twee torens is uitgevoerd met dubbele zend-ontvangers aan iedere zijde welke aan de ene zijde uitgebracht zijn op één antenne (paraboolspiegel van 3 m diameter) en aan de andere zijde twee antennes.

Aan de eindpunten van de verbindingen zijn de combinatoren aangebracht. In deze combinatoren worden, op basisbandniveau, de uitgangssignalen van de beide ontvangers parallel geschakeld. In normale toestand zullen de informatie bevattende signalen met gelijke fase aankomen en derhalve in spanning optellen wat een verhoging van 6 dB van het niveau ten gevolge heeft. De ruis op beide verbindingen, die niet gecorreleerd is, telt in vermogen op overeenkomend met een stijging van 3 dB. Aan de uitgang van de combinator wordt hierdoor een nettowinst van 3 dB in signaal/ruis verhouding verkregen.
Afschakeling van één der beide takken vindt plaats op de volgende criteria:

a) de signaal/ruis verhouding van één tak is 4,8 dB slechter dan die van de andere tak waarbij het LF-kanaalruisniveau tevens de waarde van 400 pW moet overschrijden,
b) bij het aanspreken van de squelchschakeling van één der aangesloten ontvangers,
c) indien het in beide takken van een verbinding meegezonden pilootsignaal in één van hen ontbreekt.

Op de hiervoor omschreven wijze zijn de wensen t.a.v. bescherming tegen uitvallen door fading zo goed mogelijk vervuld en tevens is een bescherming tegen defecten in de straalverbindingsapparatuur geïntroduceerd.

4. Verdeling van de beschikbare zend- en ontvangfrequenties over de diverse stations

Bij de verdeling van de ter beschikking staande frequenties over de in het net voorkomende stations diende met verschillende factoren rekening te worden gehouden. Voorkomen moest worden dat:

a) de ontvangers signaal kregen uit de in hetzelfde station opgestelde zenders
b) een ontvanger andere signalen accepteerde dan die welke afkomstig waren uit de bijbehorende zender in het tegenstation
c) storing in de over te brengen informatie ontstond als gevolg van interferentie tussen het gewenste HF-ontvangstsignaal en andere, dus ongewenste, signalen.

Aan de als eerste gestelde eis is eenvoudig te voldoen door in ieder station alle zenders in hetzelfde bandgedeelte onder te brengen, de ontvangers komen dan, op 285 MHz afstand, in het andere bandgedeelte. De RF-selectiviteit kan dan ruim voldoende zijn om de gewenste onderdrukking te garanderen.

De beide andere eisen hebben betrekking op de sterkte van ongewenste signalen aan de ingang van de ontvanger en verlangen dus gedeeltelijk dezelfde maatregelen. In eerste instantie is voorkomen dat storende zenders ter plaatse van de ontvanger-ingang met een sterker signaal aankwamen dan het gewenste signaal. Dit is uitgevoerd door de demping tussen zender uitgang en ontvanger ingang vast te leggen op één vaste waarde. Voor het merendeel der trajecten moesten hiertoe extra dempingsleden worden ingebouwd. Metingen hebben uitgewezen dat de totaal dempingen alle tussen de 62,4 en 64,9 dB liggen.

De spreiding is veroorzaakt door fabricage toleranties in de dempingsleden en golfleiders alsmede door wijziging van de golfgeleiderlengten bij de montage ten opzichte van de bij de berekening aangenomen lengten.

De effectieve ontkoppeling van storende signalen ten opzichte van het gewenste signaal wordt nu uitsluitend bepaald door de antenne-eigenschappen te weten hoekontkoppeling en polarisatie-ontkoppeling of een combinatie van deze beide eigenschappen, algebraïsch vermeerderd met het verschil in demping van het gewenste en het storende traject, indien de frequenties aan elkaar gelijk zijn. Bij ongelijke frequenties dient de storingsgevoeligheid van de ontvanger in de berekening te worden opgenomen. Op grond van deze beschouwingen zijn als basis voor de netplanning (globaal vermeld) de volgende eisen aangehouden:

ontk. hoek	minimale freq. afstand	polarisatie
0- 20°	3,5 MHz	
20- 60°	1,75 MHz	parallel is mogelijk
60-110°	0	dient gekruist te zijn
110-180°	0	parallel is mogelijk

De uiteindelijke indeling van frequenties en daarbij de polarisatie is mede bepaald door het feit dat op PTT-stations met een minimum aan antennes gewerkt moest worden. De space-diversity is bereikt door de trajecten op te bouwen met 3 antennes, één antenne met dubbelstraler (horizontaal en verticaal) tegenover twee antennes met enkele stralers, waardoor de beide op een traject te gebruiken frequenties reeds qua polarisatie ontkoppeld zijn.

Een en ander maakte het mogelijk dat voor alle verbindingen in Noord-Zuid richting de kanaalparen A1 en A2, voor die in Oost-West richting de kanaalparen B1 en B2 gekozen zijn. De kanaalparen A3, A4, B3 en B4 zijn slechts daar toegepast waar dit in verband met het optreden van stoorsignalen vereist werd. Uit de internationale literatuur is bekend dat bij gelijke frequenties van het gewenste en het storende HF-signaal, in het ongunstigste draaggolfkanaal een ruisafstand ter grootte van de effectieve ontkoppeling van het storende signaal vermeerderd met 22 dB ontstaat, vooropgesteld dat beide signalen gelijksoortig gemoduleerd zijn. Voor het SEP-net betekent dit dat in alle in elkaar verlengde liggende verbindingen de effectieve ontkoppeling groter is dan 61 dB en dat een ruisniveau van 5 pW gemeten op het rel. nulniveau hierin niet wordt overschreden.

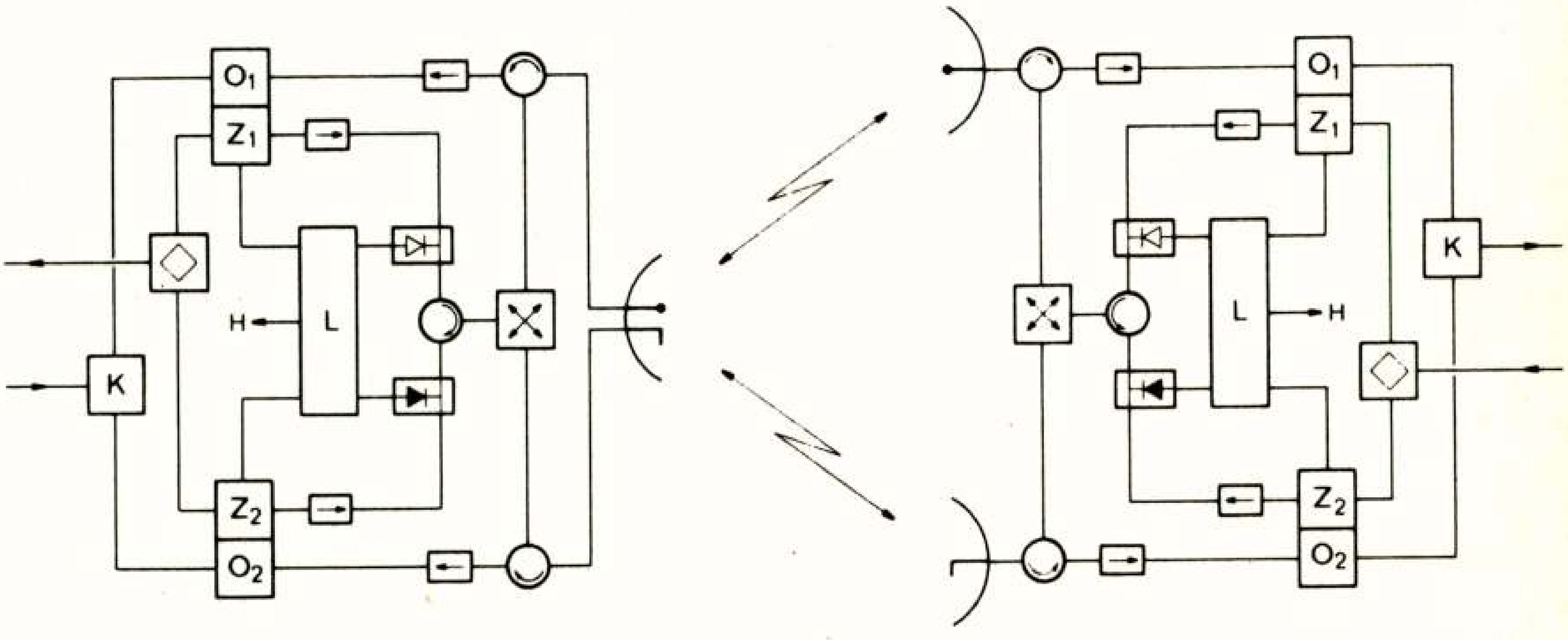
5. Toekomst

Uit een oogpunt van economisch gebruik van radiofrequenties is tussen de SEP en de Nederlandse Frequentie Commissie afgesproken dat bij toekomstige uitbreidingen het systeem van steeds twee kanaalparen per traject nog slechts één kanaalpaar gebruikt zal worden. Dit is mogelijk door toepassing van een "Hot-stand-by" systeem waarbij één van de beide zenders in een bepaalde richting door een diodeschakelaar wordt kortgesloten. Deze schakelwijze maakt het mogelijk dat bij het wegvallen van de zendenergie van de in bedrijf zijnde zender binnen 100 µsec op de reservezender is overgeschakeld en de verbinding weer in bedrijf is.

Bij omschakeling met de hand wordt de hiervoor genoemde tijd gereduceerd tot ca. 1 µsec. Met het oog op interferentiestoringen dient de reservezender bijzonder goed van de bedrijfszender ontkoppeld te zijn. Metingen die door het Hoogfreq. Lab. van de KEMA voor SEP aan een prototype zijn verricht hebben aangetoond dat bij een isolatiedemping van 80 dB geen noemenswaardige toename van de ruis in de draaggolfkanalen is vast te stellen. Tijdens deze metingen is tevens gebleken dat een isolatiedemping van min. 80 dB goed haalbaar is.

In samenwerking met de leverancier van de huidige apparatuur, Telefunken, is een schakeling opgezet waarbij de space-diversity met behoud van het 3-antenneconcept werd gerealiseerd bij gebruik van één kanaalpaar voor een verbinding met de zenders in "Hot-stand-by" schakeling.
Voor wat betreft de zendzijde leverde dit weinig problemen op, wel moet een extra demping van het zendersignaal van max. 6 dB worden geaccepteerd. Deze extra demping kan echter, geheel of gedeeltelijk, op een t.b.v. het voorkomen van intermodulatie storingen in te bouwen dempingslid in mindering worden gebracht.

"HOT - STAND - BY" SYSTEEM



O : **ontvanger**

Z : **zender**

L : **logica**

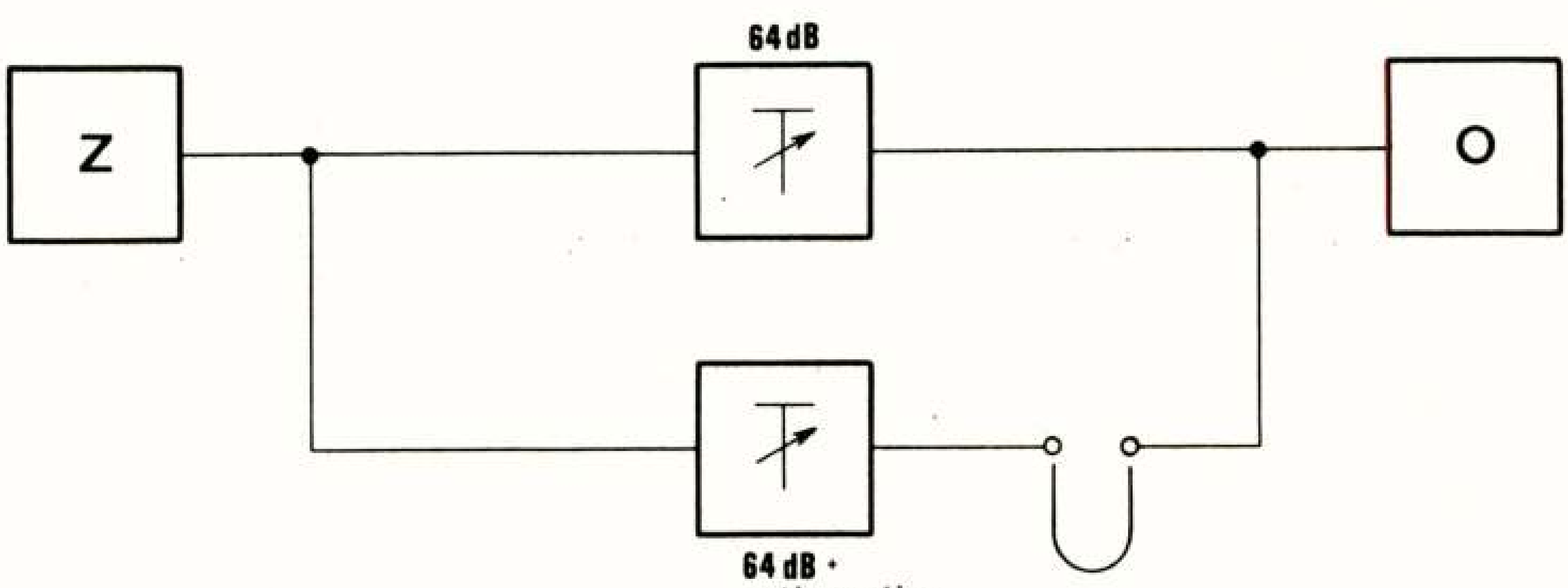
K : **kombinator**

Aan de ontvangstzijde diende aan de volgende voorwaarden te worden voldaan:

a) de ontvangers moesten, ieder voor zich, op een antennekabel worden aangesloten

b) de ontvangers mochten geen signaal krijgen uit de <u>niet</u> erbij behorende antenne

Bij de hiervoor genoemde metingen aan een prototype bleek ten aanzien van de tweede voorwaarde de demping minimaal 60 dB te bedragen, exclusief de ontkoppeling t.g.v. de kruising van de antennepolarisaties.
Dat deze waarde ruim voldoende is, werd aangetoond door metingen waarbij de optredende intermodulatieruis gemeten is als functie van de ontkoppeling en een HF-looptijdverschil tussen twee signalen. Het looptijdverschil is voor deze meting verkregen door tussenschakeling van coax-kabel of flexibele golfgeleider overeenkomende met 30 en 157 nsec. vertraging.



looptijdverschil	ontkoppeling	toename intermodulatie ruis
0	min. 10 dB	niet merkbaar
30 nsec	min. 5 dB	enige pW
157 nsec	min. 30 dB	ca. 50 pW
157 nsec	20 dB	ca. 2 500 pW
157 nsec	10 dB	ca. 10 000 pW

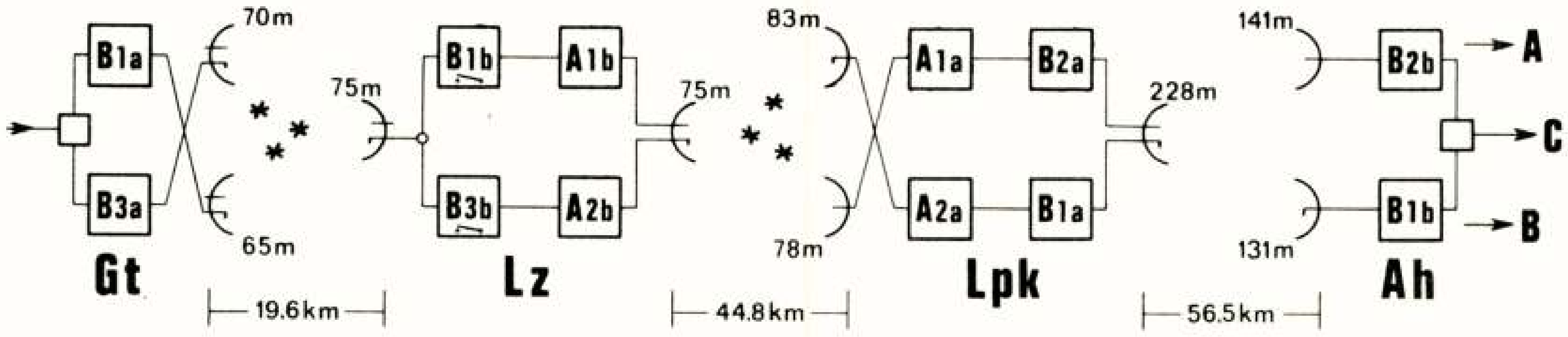
Uit de metingen blijkt nu duidelijk dat aan de eis voor de minimaal noodzakelijke ontkoppeling tussen de ontvangers zeer ruim wordt voldaan.

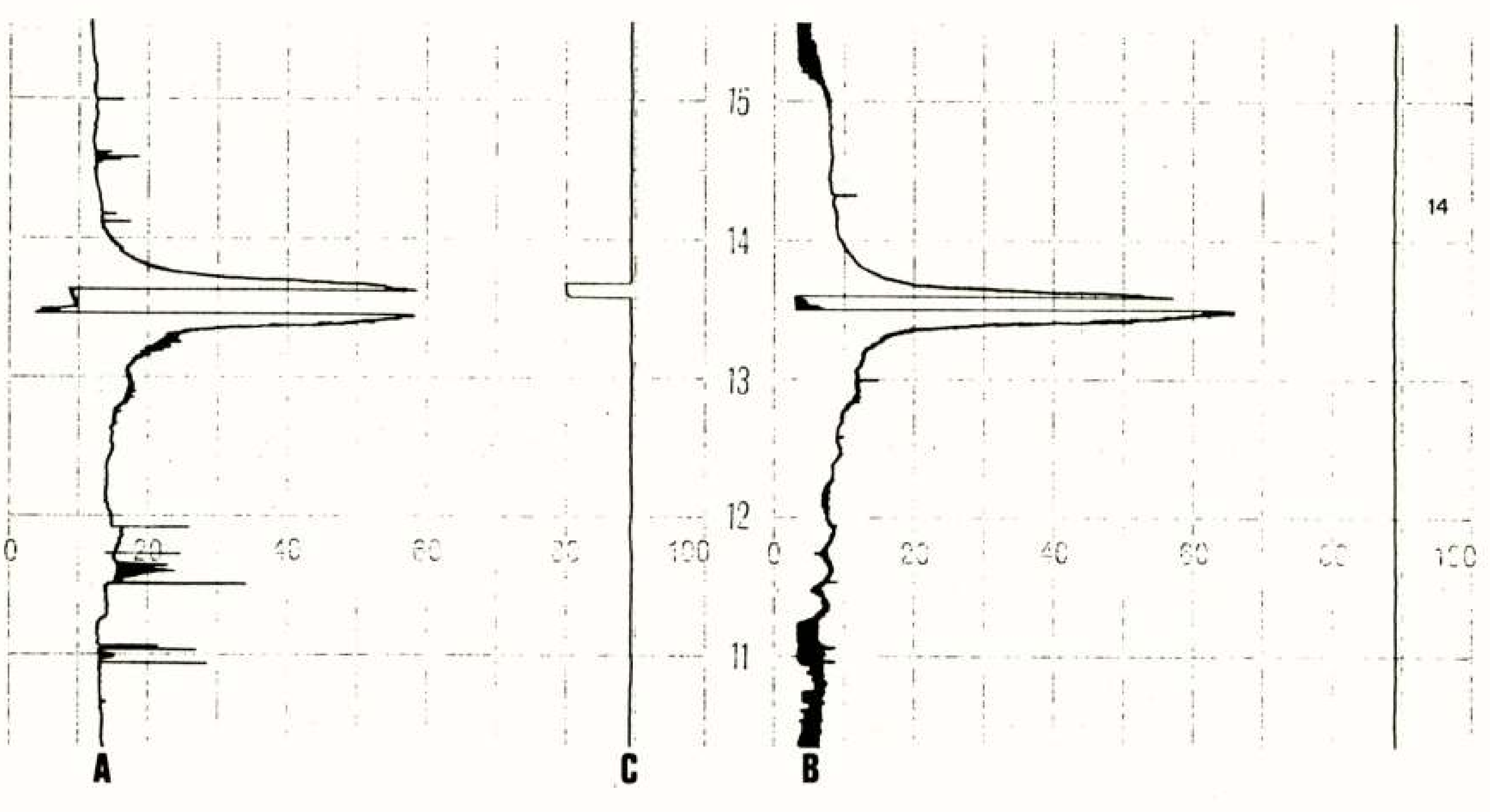
6. Bewaking

De bewaking van het SEP-straalverbindingsnet heeft twee aspecten.

6.1. De straalpaden moeten bewaakt worden tegen het ontstaan van obstakels in het straalpad. Voor de trajecten tussen PTT-torens geschiedt dit, zoals reeds eerder is vermeld, door PTT. De overige straalpaden worden door de SEP zelf bewaakt. Voor dit doel zijn op de desbetreffende topografische kaarten (schaal 1:25000) de straalpaden (met een veiligheidszône van 100 m ter weerszijden van de hartlijn) ingetekend, waarbij op afstanden van steeds 1 km vanuit het midden van het straalpad de maximaal toegelaten bouwhoogte t.o.v. NAP is aangegeven. Voor de berekening van deze markante punten is door de SEP een computerprogramma ontwikkeld waarbij tevens de coördinaten worden vermeld. Bij de verspreiding van de kaarten over instanties die zich met de planologie bezighouden is vastgesteld dat ook voor de computeruitdraaien grote belangstelling bestond vanwege het daarmede eenvoudige en exact overbrengen van de straalpaden op eigen kaarten (schaal 1:10.000 tot 1:1000).

6.2. De apparatuur wordt bewaakt door middel van een verremeldsysteem wat, via het in een ring geschakelde dienstkanaal, meldingen uit de apparatuur naar het Landelijk Centrum overbrengt. Op de hier geplaatste centrale eenheden wordt dan, door het opgloeien van lampjes, eén storing aangegeven. Omdat ook fading verschijnselen hierin een rol spelen werd het wenselijk geacht deze onmiddellijk als zodanig te kunnen onderscheiden. De mogelijkheid hiertoe is gevonden door een uit de combinator te betrekken spanning tussen 0,5 V en 5,0 V, afhankelijk van de ruis op de betreffende verbinding, voor alle in Arnhem eindigende verbindingen op





registrerende instrumenten te brengen. Totale onderbrekingen van verbindingen worden vastgesteld met behulp van electronische tellers (0,1 sec. afleesbaarheid) aangesloten op pilootalarmen van de draaggolfapparatuur en als verschijnsel op een Siemens 20-pens tijdschrijver geregistreerd. Als voorbeeld is in afb. 5 de registratiestrook van 14 december 1973, betreffende de verbinding Geertruidenberg-Arnhem gegeven. Hierin is de toe- en afname van de ruisspanningen op de verbinding, het afschakelen van beide ontvangers alsmede de totale onderbreking (355,2 sec) te zien. De verschijnselen worden veroorzaakt door een sneeuwstorm in het gebied rond Loon op Zand.
Op deze wijze zijn ook kortstondige storingen waarvan de onderbrekingstijd korter is dan de tijd om een alarm op de bewakingsapparatuur te brengen, vast te stellen.
In enige gevallen zijn hierdoor apparatuurdefecten vastgesteld en gerepareerd die op een later tijdstip tot een veel langere totale onderbreking geleid zouden hebben.

Slot

Resumerend kan worden gezegd dat de SEP met het straalverbindingsnet een verbindingsmiddel heeft verkregen dat de in verband met de bedrijfsvoering vereiste betrouwbaarheid bezit. Het systeem van dubbele radioapparatuur in space-diversity gecombineerd met een doeltreffende bewaking leveren hiertoe een grote bijdrage.

Voordracht gehouden op 5 september 1974 bij de KEMA te Arnhem, op een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 239) en de Benelux Section IEEE.

KLINISCHE NEUROFYSIOLOGIE IN WOORD EN BEELD

Dr. H.A.C. Kamphuisen
Lector in de klinische neurofysiologie
Academisch Ziekenhuis, Leiden

In het kort wordt de plaats en de taak van de klinisch neurofysioloog aangeduid. De ontdekking van het EEG en de betekenis ervan voor de kliniek wordt aangegeven. De beperkingen van het klinisch onderzoek en de vraagstukken die daardoor worden opgeroepen worden nader geanalyseerd.
Ten slotte worden een aantal mogelijkheden geschetst, om tot een beter begrip van de hersenfunctie in de toekomst te komen. Heel nadrukkelijk blijkt hieruit dat een intensieve samenwerking zal moeten worden gezocht tussen o.a. klinisch neurofysiologen, biochemici en fysici.

Inleiding.

Wanneer de klinisch neurofysioloog in woord en beeld moet worden gepresenteerd kan dat gezien de beperkte spanne tijds die daarvoor beschikbaar is slechts stamelend en vermoedelijk ook beeldvervormend geschieden.

Wat is een Klinisch Neurofysioloog?

De klinisch neurofysioloog is een arts- specialist, die twee jaar opleiding heeft gevolgd in de neurologie, gevolgd door een stage van een jaar klinische neurofysiologie op een daartoe erkende opleidingsafdeling. Gezien dit opleidingsschema is hij meestal ingeschreven in het specialisme voor neurologie (doch dit is niet obligaat) met daarbij de aantekening, dat hij bevoegd is de klinische neurofysiologie uit te oefenen. Het is geen zelfstandig specialisme doch het heeft in de grote klinische centra meestal wel de zelfstandigheid van een sub-specialisme. De klinisch neurofysioloog verleent zijn diensten aan de werkers op het terrein van de neurologische wetenschappen als aanvullend diagnost.

Wat doet een Klinisch Neurofysioloog?

De klinisch neurofysioloog houdt zich bezig met hersen- en zenuw- spier- onderzoek, waarbij hij zich resp. electroencefalografist en electromyografist noemt. Daarnaast verricht hij over het algemeen veel ultrageluidsdiagnostiek, meestal aan de schedel, doch in wezen behoort laatstgenoemde methodiek in strikte zin niet tot de klinische neurofysiologie. De echoencefalografie berust immers op een geheel ander principe dan de electroencefalografie (EEG) en de electromyografie (EMG).

Met andere woorden gezegd kan men stellen dat de klinisch neurofysioloog zich overwegend bezighoudt met de registratie en interpretatie van electrische potentiaalvariaties welke nu eenmaal inherent zijn aan de functie van zenuw- en spierweefsel.
In het vervolg van mijn inleiding zal ik mij vnl. bezighouden met een aantal aspecten van de electroencefalografie.

Verkorte historie.

In 1929 publiceerde Hans Berger, een Duits psychiater uit Jena, de eerste electroencefalogrammen van de mens. Hij gebruikte daarvoor een snaargalvanometer, uiteraard met een voorversterker en verkreeg aldus de eerste een-kanaals EEG's. (zie fig. 1).

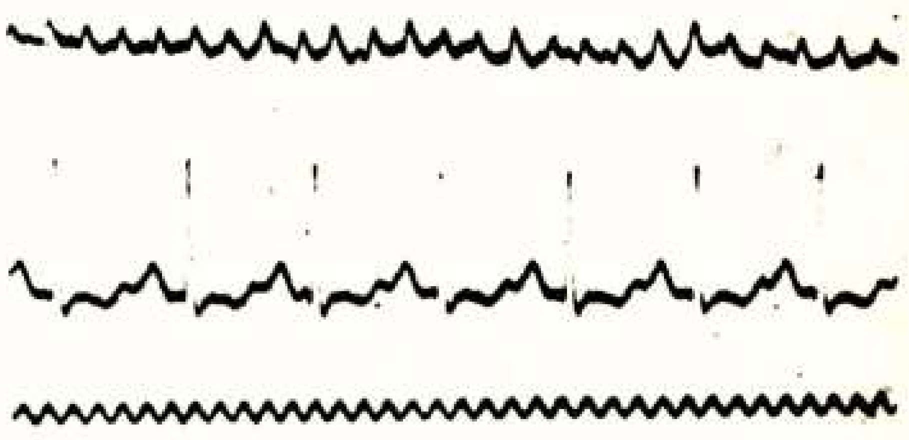


Fig.1.: Meisje van 19 jaar met een schedelbotdefect in beide temporale gebieden. Bovenste curve bitemporaal EEG, middelste curve ECG, onderaan tijd in tienden van seconden (H.Berger).

Bij voorkeur koos hij patienten uit met een schedelbotdefect waarbij hij zilveren electroden plakte op de erover liggende huid en soms stak hij naaldelectroden onder de huid. Dit alles met het doel zo groot mogelijke amplituden te kunnen registreren. Op sommige plaatsen van het hoofd nam hij aldus een vrij regelmatig, min of meer sinusvormig signaal waar, op andere plaatsen een zeer rommelig ruisachtig beeld. Het sinusvormige signaal toonde een frequentie van ongeveer 10c /sec. de ruis was tweemaal zo snel. Hij sprak van alpha- en beta-ritme.

Vrijwel niemand hechtte geloof aan de bevindingen van Hans Berger, totdat in het begin van de jaren dertig de Engelse fysiologen Adrian en Matthews de door Berger beschreven experimenten herhaalden en hem in het gelijk stelden. De ontdekking van het menselijk EEG werd erkend maar het zou tot na de tweede wereldoorlog duren alvorens de klinische toepasbaarheid algemeen ingang zou vinden.

Het EEG van vandaag.

Van den Hoofdakker vergeleek in het Hollands Maandblad van November 1974 de ontdekking van de hersenpotentiaalvariaties met de ontdekkingen die een doof mens doet na-

dat hij plotseling weer kan horen. Auto's die eerst geruisloos aan hem voorbijgingen, blijken ineens geluid te produceren. Daarna ontdekt hij dat het lawaai dat hem omgeeft allerlei componenten bevat zoals het ruisen van luchtwervelingen en het geknal van motoren, naast de muziek uit de autoradio e.d. Voorts leert hij dat lawaai systematisch verandert als het gedrag van de auto verandert. Het EEG bevat eveneens vele frequentie-componenten tussen 0 en 100 Hz. Men neemt aan dat deze z.g. langzame potentiaalvariaties voornl. ontstaan rondom de dendrietvertakkingen van de zenuwcellen of neuronen.
Deze dendrietvertakkingen zijn uitlopers van de zenuwcel welke "berichten" naar de cel geleiden. De betekenis van deze "spontane" elektrische verschijnselen is nog duister. Het feit, dat zij aan de intakte hoofdhuid meetbaar zijn,betekent dat zij moeten worden gevormd bij grote groepen van cellen welke min of meer synchroon het ritme veroorzaken.

Bovengenoemde massale synchroniteit welke ten grondslag ligt aan de "spontane", autonome hersenaktiviteit levert ons dan wel het EEG, maar het komt ons tegelijk als bijna onverenigbaar voor met de sterk gedifferentieerde functie van de hersenen, bijv. tijdens denkprocessen.
De electrische verschijnselen zijn a.h.w. de slakken van de hoogoven-werking maar zeggen niet veel over de ertsen welke worden gebruikt en de bewerkingen welke worden toegepast.

Het EEG is de resultante van de electrische activiteit van hersencellen en veranderingen van het EEG betekenen dat in celconglomeraten veranderingen optreden. Het is echter thans nog niet mogelijk EEG-verschijnselen te associëren met subtiele hersenwerkingen, zoals denken en waarnemen. We bevinden ons nog overwegend in het stadium van de klinische diagnostiek en weten nog niet goed hoe de neurofysiologische processen moeten worden aangepakt. De poging om relaties te vinden tussen bepaalde toestanden waarin hersencentra zich bevinden en het daaruit resulterend "gedrag" is toekomstmuziek. Het EEG is te beschouwen als een bandopname van boeiende electronische muziek. We nemen daarin vele orkestpartijen waar en we zijn in staat iets te veronderstellen omtrent de toon waarin het stuk is gezet maar het is nog lang geen welluidende orkestpartij.

De beoordeling van het EEG berust op empirie. De ervaring met grote aantallen mensen heeft ons geleerd wanneer het beeld als niet afwijkend mag worden beschouwd. De EEG's van kinderen leveren daarbij veel grotere moeilijkheden op dan die van volwassenen. Aan het normale EEG kan men een aantal waarnemingen doen, (zie fig.2), aan het eind waarvan de geruststellende diagnose als het ware vanzelf tevoorschijn komt. Er zijn aan de schedel een aantal ritmen in verschillende hersengebieden te registreren welke op bepaalde prikkels volgens een bepaald patroon reageren. Bovendien is het EEG van een gezond mens geheel symmetrisch en verandert het tijdens slaperigheid en slaap zo karakteristiek dat de slaapdiepte precies kan worden aangegeven.

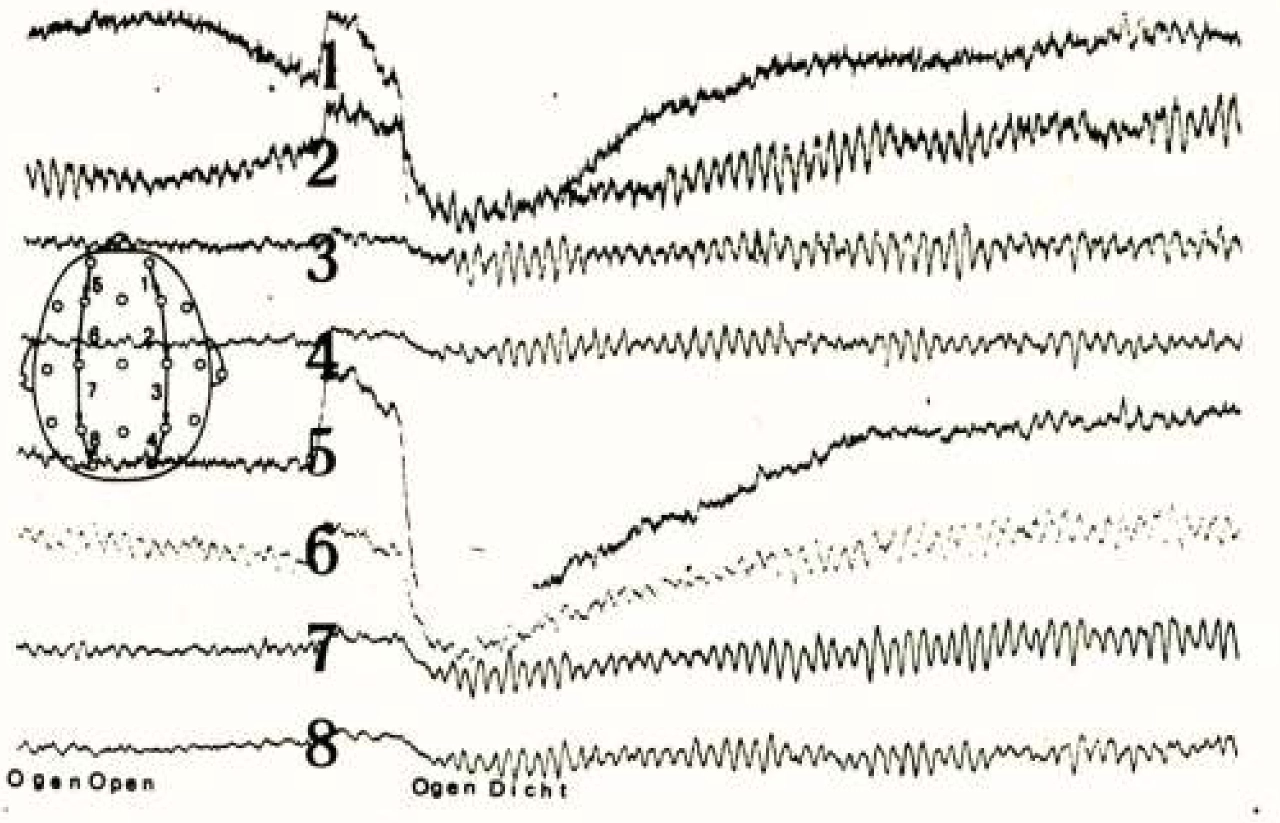


Fig.2.: EEG van 40 jarige man. Door sluiten der ogen ontstaat in de achterste gebieden (kanaal 3,4,7 en 8) een ritme van ongeveer 10 c/s, dat alpharitme wordt genoemd.

Het probleem van de klinische neurofysiologie is, dat bij de huidige manier van onderzoek met behulp van vele zilveren electroden op het behaarde hoofd en de gelijktijdige afleiding via deze contactpuntjes naar talrijke EEG-kanalen (16 à 20 stuks) ons inzicht betreffende de hersenfunctie niet noemenswaard wordt verruimd, ook niet wanneer de hulp van computers wordt ingeroepen. Over de betekenis van het oudst bekende fysiologische alpha-ritme kan nog weinig met zekerheid worden opgemerkt.
De neuronen van de achterste hersenschors gedeelten produceren in een toestand van relaxatie en bij gesloten ogen een sinusvormig ritme met een frequentie van ± 10 per sec. (alpha-ritme).
Dit ritme verdwijnt als de ogen geopend worden. Het verdwijnt evenzeer bij slaperigheid of bij geestelijke arbeid. Wij kunnen ons daarbij tal van vragen stellen.

Bijv. A. Wat betekent de aanwezigheid van alpha-ritme bij een jonge vrouw van 25 jaar?

B. Wat betekent de afwezigheid van alpha-ritme bij diezelfde vrouw?

Er zijn tal van antwoorden mogelijk.

Ad. A. 1. De vrouw heeft haar ogen dicht en is ontspannen.

2. De vrouw heeft haar ogen open doch staart ontspannen voor zich heen.

Ad. 1. onthouden van licht doet occipitaal (in het achterste deel v.d.hersenen) een alpha-ritme ontstaan.

Ad. 2. onthouden van genuanceerde waarnemingen doet occipitaal een alpha-ritme ontstaan.

Bovengenoemde bevindingen behoeven niet met elkaar in tegenspraak te zijn. Het betekent alleen dat we op grond

van de aanwezigheid van alpha-ritme in de occipitale gebieden onvoldoende conclusies kunnen trekken omtrent de (psychische) toestand van de onderzochte. We weten niet hoe zij zich op dat moment gedraagt.

Ad. B. 1. In het EEG van bovengenoemde vrouw wordt in de occipitale afleidingen geen alpha-ritme geregistreerd. We nemen in dit gebied een soort achtergrondgeruis waar. Men spreekt dan van desynchronisatie.

Wat is er op het moment dat dit wordt geregistreerd met haar aan de hand? Of liever gezegd, wat gaat er in haar hoofd om?

Er zijn weer een aantal antwoorden te bedenken.

Ad. B.1. Zij heeft de ogen open.
2. Zij heeft de ogen dicht doch is gespannen. (zij rekent, zij is angstig e.d.) of:
3. Zij is doezelig of onder narcose.
4. Haar schedel is te dik of te kalkrijk, zodat potentiaalvariaties niet kunnen worden waargenomen.
5. Zij is blind.
6. Het toestel is defect.
7. De occipitale electroden maken onderling kortsluiting, zodat daarom een vrijwel iso-electrische curve wordt geproduceerd.

Kortom, het feit, dat het alpha-ritme ontbreekt is op zich weinig diagnostisch. De geregistreerde verschijnselen zijn deels nietszeggend.

De werkzaamheden van de klinisch neurofysioloog zijn aldus te vergelijken met het plaatsen van een sthethoscoop op een geluidsbandje ten einde via frequentie-analyse en de analyse van de samenhang van signalen die achtereenvolgens door het orkest op het bandje zijn getoverd te komen tot de interpretatie van de symphonie. Sommige onderzoekers verwijderen onderdelen uit de bandrecorder om te horen hoe het geluid dan klinkt.
Genieten en begrijpen van muziek ontaardt zodoende in technisch sleutelen. Het routinematig registreren van een electroencefalogram (EEG) kan men in figuurlijke zin dan ook slechts betitelen met "krabben aan de oppervlakte". Natuurlijk is dit alles wat overdreven gezegd. Bij ziekelijk functioneren van de hersenen (ontstekingen, vaatinsufficienties, ruimte- innemende processen, beschadigingen door letsels, epileptische ontladingen e.d.) kan het EEG een overtuigende bijdrage leveren voor een juiste diagnose maar voor een diepgaand begrip van de hersenfunctie zal het noodzakelijk zijn het contact met het zenuwstelsel uitermate te verfijnen.

Het EEG van morgen een electrobiochemogram?

Vooral de laatste jaren begint bij de bestudering van het centrale zenuwstelsel het idee veld te winnen dat de fysiologie van de hersenen aanzielijk beter kan worden bestudeerd door gebruik te maken van geïmplanteerde electroden, zowel voor diagnostische- als therapeutische maatregelen.
Heath en Hodes (1952), Sem Jakobsen (1953), MacDonald Tow en Whitty (1953), Walter en Crow (1961) en Bechtereva (1963) hebben op dit gebied baanbrekend werk verricht. In ons land voegde Storm van Leeuwen zich bij deze rij. Met behulp van diepte-electroden kunnen wij waarnemen op welk punt in de hersenen bepaalde hersenactiviteiten het meest actief zijn. De min of meer anatomische vraag waar zich dit of dat bevindt, kan binnen zekere grenzen met deze methode worden beantwoord. De vraag echter naar het hoe, die hieraan onmiddellijk moet worden vastgekoppeld, is veel minder gemakkelijk te beantwoorden omdat het in de neurofysiologie niet alleen gaat om electrische verschijnselen, maar in veel belangrijker mate vermoedelijk om biochemische processen. Het gaat er niet alleen om te weten welk soort van algemene- of lokale veranderingen in de hersenen tijdens een bepaalde gedragssituatie zich voordoen, maar het gaat er in zeer bijzondere mate ook om, te verstaan vanuit welke basis deze hersenveranderingen eigenlijk plaatsvinden. Electrische- en chemische verschijnselen zijn zeer nauw verbonden en moeten in ieder geval tesamen worden beschouwd bij een poging de fysiologie van de hersenen te begrijpen. Verondersteld kan worden dat de vrij specifieke uitscheiding en dus ook het vrij specifieke gebruik van bepaalde stoffen door bepaalde hersenstructuren een relatie moet hebben met verschillende neurofysiologische- en ook gedragsmatige condities, zoals daar kan worden gedacht aan epileptische activiteit, slaapverschijnselen en woede-uitbarstingen.
Houden we de biochemische functies in het oog, dan lijkt het waarschijnlijk, dat met behulp van chemische bepalingen, gekoppeld aan electroneurofysiologische gedragingen van bepaalde hersengebieden een aanzienlijk beter inzicht verkregen kan worden in de wijze van functioneren van het centrale zenuwstelsel.
Om dergelijk gecombineerd onderzoek verfijnd te kunnen doen kunnen we gebruik maken van een door Delgado in 1962 beschreven zgn. chemitrode bestaande uit 2 smalle pipetjes plus een stekker met contacten daarlangs geplaatst om

a) electrisch te kunnen registreren
b) electrisch te kunnen stimuleren
c) bepaalde stoffen te kunnen injiciëren, terwijl voorts ook nog stoffen moeten worden verzameld en geanalyseerd.

Voor een beter begrip van de functie van het zenuwstelsel moet in de toekomst vermoedelijk veel meer aan de enkelvoudige zenuwcel met zijn uitlopers worden geëxperimen-

teerd dan tot dusver. Een combinatie van electrofysische- en biochemische analyses is daarbij onontbeerlijk.
Het zal in hoge mate boeien te onderzoeken wat de anatomische- , electrische- en biochemische correlaten zijn van gedachten en emoties.
Op het gebied van gedragsonderzoek wordt bij dieren reeds veel werk verricht. Men weet, dat veel gedragingen en bijzondere gedragsuitingen zoals b.v. motorische activiteit, voedselopname, agressie, moederlijke gedragingen, seksuele uitingen en allerlei andere processen actief kunnen worden beïnvloed door electrisch stimuleren van bepaalde hersengedeelten. Een belangrijk verschil tussen wat ontstaat bij het electrisch stimuleren van de hersenen en het functioneren ervan op de gebruikelijke fysiologische wijze is dat electrische stimulatie in wezen een niet specifieke trigger is voor hersenfuncties. Wat met electrische stimulaties bereikt wordt zijn over het algemeen grove gedragsuitingen maar de fijnere details van gedragingen kunnen niet door electrische prikkeling worden gedirigeerd. Door kunstmatige stimulatie ontstaat een robotachtig gedrag zoals bij vele dieren is waargenomen.

Naast het hierboven in het kort beschreven "excitatieve hersengedrag" moet vrijwel zeker een grote belangrijkheid worden toegekend aan het bestaan van remmende hersenmechanismen. Deze remmingen slaan zowel op remmingen van de motoriek tot bewegingsloosheid toe, als op remming van voedselopname, van agressie, alsmede verlangzaming van de hartslag en de ademhaling. Ook de slaap behoort zeer waarschijnlijk tot een dergelijk inhibitoir mechanisme. Bij deze remmingen die in het experiment kunnen worden opgewekt krijgt men het merkwaardige effect, dat ook ontstaat wanneer men een filmprojector stopzet, de beweging, de activiteit bevriest als het ware. Het robotachtige gedrag dat tijdens deze proefnemingen kan worden waargenomen bewijst dat men nog lang niet in staat is de processen in zijn natuurlijk beloop te volgen.
Het is zeker dat nog meer kennis over de wijze van inhibitie en excitatie nodig is dan wij thans bezitten omdat deze processen zeer nauw verwant zijn aan de manier waarop bepaalde gedragingen ontstaan, of niet.
Het zou thans te ver voeren op al deze belangwekkende facetten van hersenonderzoek in te gaan.
Hopelijk is met deze inleiding aangegeven dat voor de klinisch neurofysioloog nog een groot arbeidsterrein braak ligt. Verkenning en in kaart brengen van dit veld vereist een grote interdisciplinaire coöperatie tussen tal van medische specialisten aan de ene kant, en biochemici en fysici aan de andere kant.

Referenties

- Crow, H.J., Cooper, Ph.D. and Phillips, D.G.: Progressive Leucotomy. Curr. psychiat.Ther. 3 (1963), 100-113.
- Delgado, J.: Biol. Diagn. Brain disorders, The future of the brain Sciences, Spectrum Public. Inc. Chapter 2, 1973.
- Gloor, P.: Hans Berger, On the EEG of Man, Electrenc. and Clin. Neurophysiol. (1969) Suppl. 28.
- Hoofdakker, R.H. van den: Wie is Morpheus? Holl. Mndbl. 324, (1974), 3-14.
- Kamphuisen, H.A.C.: Opleiden is Ver-leiden. Oratie Mei 1974, Univ. Pers, Leiden.
- MacDonald Tow, P. and Whitty, C.W.M.: Personality changes after operations of the cingulate gyrus in man. J. of Neurol., Neurosurg. Psychiat., 16 (1953), 186 - 193.

Voordracht gehouden op 23 januari 1975 in het Academisch Ziekenhuis Leiden, op een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 243) en de Benelux Section IEEE.

EEG-VERSTERKING EN -VERWERKING

Ir. J.D. Nije
Nederlands Instituut voor Praeventieve Geneeskunde TNO
Werkgroep Quantificering EEG bij kinderen

A description is given of a system tot analyse EEG's in terms of power-spectrum, cross-spectrum and coherence. The necessary steps of data aquisition, data preprocessing and data analysis are discussed as well as a computerized test procedure for the analoge part of the registration system.

Inleiding

Het Electroencephalogram (EEG) is de registratie van electrische potentiaalschommelingen, gemeten tussen op de hoofdhuid bevestigde electroden. Deze potentiaalschommelingen vormen een afspiegeling van de electrochemische processen in de hersenen.

Bij verschillende functiestoornissen van de hersenen treden veranderingen in het EEG op, die afwijken van het als 'normaal' aanvaarde EEG-patroon. In de kliniek worden de EEG-signalen op een papier-recorder uitgeschreven en vervolgens visueel door de EEG-specialist geïnterpreteerd. Deze feitelijke patroonherkenning is vooral bij het optreden van sterk afwijkende golfpatronen, zoals bijvoorbeeld bij epileptie, zeer efficiënt. De quantitatieve eigenschappen van het EEG-signaal zijn echter moeilijk visueel te schatten. Vooral in dit opzicht levert een geautomatiseerd systeem een belangrijke bijdrage. Tevens wordt door de quantificatie van het EEG-signaal een objectieve statistische analyse mogelijk.

Quantitatieve analyse van het EEG blijkt op subtiele wijze gevoelig voor veranderingen in het EEG-signaal als gevolg van psychologische factoren (angst, aandacht, rustig, slaperig), omgevingsinvloeden (licht, geluid, temperatuur), medicatie en verstoringen van het EEG-signaal door andere fysiologische signalen (oogbewegingen, spieractiviteit, bewegingen). Hoewel in wezen behorend tot de problemen van de EEG-specialist en EEG-laborante verdient het aanbeveling ruime aandacht aan de registratie te besteden. Dit laatste vormt, naast een zorgvuldig opgezet en getest registratie- en verwerkingssysteem, onderwerp van dit artikel een voorwaarde voor een verantwoorde quantificatie van het EEG-signaal.

REGISTRATIE VAN EEG's

Ons EEG-registratiesysteem is opgebouwd rond een 'Ahrend & van Gogh' Electroencephaligraaf (ET-16) en een 'Philips instrumentatierecorder (EL 1015) (fig.1). Het EEG-signaal (0-40 Hz, 0-200 µV) wordt van de hoofdhuid afgeleid met behulp van gechloreerde zilverelectroden. De holle electrodeschijfjes (diameter van 8 mm) worden op het hoofd geplakt en ter verlaging van de electrodeweerstand met een geleidende pasta opgevuld. De plaatsing van de electroden geschiedt volgens een standaardsysteem, het 10-20 systeem. Om te voorkomen dat de aansluitdraden van de electroden als antenne voor electromagnetische stoorvelden gaan werken geschiedt de registratie in een afgeschermde ruimte (kooi van Faraday).

Het EEG-signaal wordt vervolgens $\pm 10^4$ maal versterkt en zowel op een papierrecorder als op een FM-gemoduleerde instrumentatierecorder vastgelegd. Door bij beide apparaten een gekoppelde tijdcodering toe te passen wordt een eenduidige tijdsrelatie tussen beide registratiemethoden gegarandeerd. Dit is van belang voor het uitzoeken van de te verwerken artefactvrije EEG-segmenten (oogbewegingen, spieractiviteit, bewegingsartefacten).

In het EEG-apparaat is een calibratiegenerator ingebouwd. Deze schakeling genereert een sinusvormige spanning met een vaste frequentie (10 Hz) en een instelbare amplitude. Volgens landelijke afspraken moet elke EEG-registratie door dit signaal voorafgegaan worden en voor calibratie benut worden.

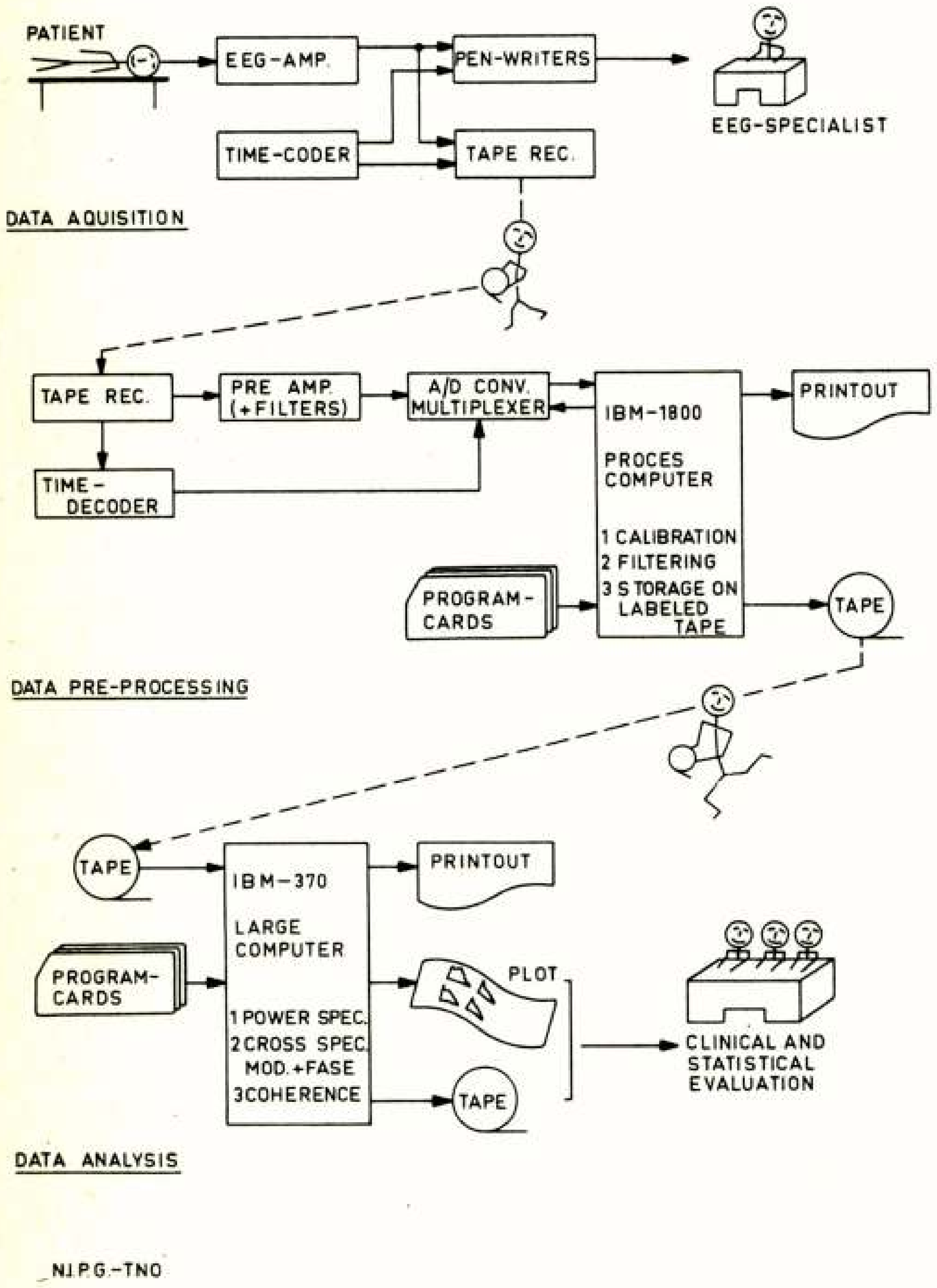
DIGITALISATIE VAN EEG's

Een procescomputer (IBM 1800) wordt gebruikt voor het digitaliseren en filteren van de EEG-signalen. Een op beide systemen bruikbare digitale magneetband (standaard-gelabeld) vormt de schakel tussen de procescomputer en een groot computersysteem (IBM 370) dat voor de signaalanalyse gebruikt wordt (figuur 1).

Het analoge signaal van de instrumentatierecorder wordt via een aanpassingsversterker en, indien gewenst, een analoog filter op de ingang van de multiplexer en A/D-converter van de procescomputer aangesloten. Met behulp van de tijd-decoder kan het juiste signaal op de magneetband gelocaliseerd worden. Na detectie van een gekozen tijdcode levert de tijd-decoder de voor de A/D-converter benodigde synchronisatiepulsen. De overdracht van de A/D-converter naar de procescomputer geschiedt onder controle van de computer.

Het programma voor de procescomputer is in

Basic Fortran geschreven en bevat vele systeemgerichte routines. In eerste instantie wordt het reeds beschreven deel van de standaard-gelabelde tape doorgespoeld. Vervolgens worden de programmaparameters en de registratiecondities ingelezen, en wordt het digitalisatieproces gestart.



Figuur 1. Verwerkingsschema

Bij dit proces kunnen tot maximaal acht analoge signalen parallel gedigitaliseerd en op een scratch-tape (digitaal) weggeschreven worden. Is het calibratiesignaal gedigitaliseerd dan zal het systeem met behulp van dit signaal gecalibreerd worden. Staat het EEG-signaal op de scratch-tape dan wordt dit signaal gefilterd en vervolgens op de standaard-gelabelde tape weggeschreven. Na deze stap kan het programma herhaald of beëindigd worden.

Calibratie

Voor de calibratie van het systeem wordt een sinusvormige spanning met een frequentie van 10 Hz en een bekende amplitude gebruikt. Dit signaal is via de ingang van de EEG-versterkers op analoge tape geregistreerd. Met behulp van het gedigitaliseerde calibratiesignaal wordt de offset-spanning (OFFSET), teruggerekend naar de ingang van de EEG-versterker, de totale versterking van het systeem (GAIN) en de gemiddelde frequentie (f_c) berekend. Voor deze grootheden geldt:

$$\mathrm{OFFSET} = \mu_c \times \sigma_s/\sigma_c$$

$$\mathrm{GAIN} = \sigma_c/\sigma_s$$

$$f_c = \sigma_{dc}/(2\times\pi\times\sigma_c)$$

Waarin σ_s de standaarddeviatie van het calibratiesignaal aan de ingang van de EEG-versterker is en μ_c, σ_c en σ_{dc} respectievelijk de gemiddelde waarde, de standaarddeviatie en de standaarddeviatie van de afgeleide van het gedigitaliseerde calibratiesignaal zijn.

De offset-spanning en de totale versterking van het registratiesysteem worden voor correcties op het EEG-signaal gebruikt. De frequentie f_c blijkt een gevoelige parameter voor het detecteren van storingen in het systeem.

Digitaal filter

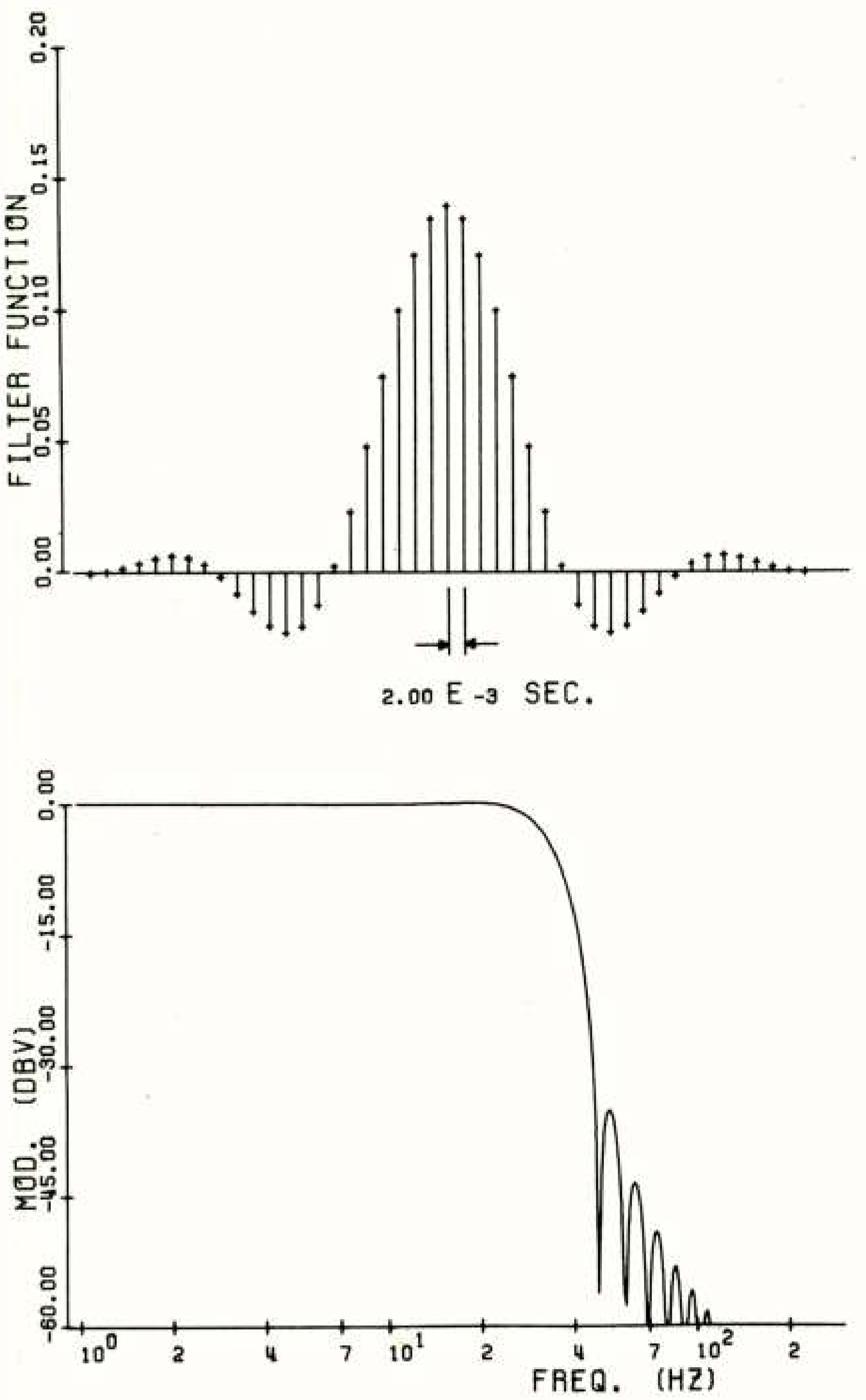
Volgens het theorema van 'Shannon' moet, voor behoud van informatie, de bemonsterfrequentie van het analoge signaal tenminste tweemaal zo hoog zijn als de hoogste in dit signaal voorkomende frequentie. Voor verwerking wordt echter een zo klein mogelijk aantal data-punten verlangd. Om aan deze wensen te voldoen wordt het EEG-signaal met een frequentie van 500 Hz bemonsterd. De zo verkregen tijdserie wordt door een laag doorlatend digitaal filter gestuurd, waarna het aantal data-punten met den factor 4 gereduceerd kan worden.

Het filterproces is de convolutie van een tijdserie X $(k\times\Delta t)$ met de filterfunctie $h(l\times\Delta t)$. Voor het uitgangssignaal $\tilde{x}$ $(k\times\Delta t)$ van het digitale filter geldt:

$$\tilde{x}(k\times\Delta t) = \Sigma_{\ell=-\alpha}^{+\alpha}\, h(\ell\times\Delta t) \times x(k-\ell) \times \Delta t) \quad ,k = 1,5,9,\ldots$$

De filterfunctie $h(l\times\Delta t)$ is in principe de fourier getransformeerde van een trapesiumvorig filter waarvan de versterking gelijk aan 1 voor het frequentiegebied 0-30 Hz en waarvan de versterking afneemt van 1 naar 0 over het frequentiegebied 30-40 Hz (figuur 2). Begrenzing in het tijdsdomein van de zo gevonden filterfunctoe tot 2 x a + 1 filterpunten levert aanzienlijke zijlobben in het frequentiegebied. Verbetering van dit effect is verkregen door de filterfunctie in het tijdsdomein via een parabolische functie te begrenzen.

Datareductie wordt tenslotte verkregen door de gefilterde tijdfunctie $\tilde{x}$ $(k\times\Delta t)$ uitsluitend om de vier waarden van k te berekenen.



Figuur 2. Digitaalfilter

VERWERKING VAN EEG's

Aan de analyse van de ritmische eigenschappen van het EEG-signaal wordt door de EEG-specialist veel waarde gehecht. Door de herontdekking van een snelle rekenprocedure voor het berekenen van Fourier-transformaties, 'Fast Fourier Transform' (FFT) genoemd, en door de voortschrijdende ontwikkeling van computersystemen is de frequentie-analyse een populaire methode voor het analyseren van EEG-signalen geworden.

Bij frequentie-analyse wordt het EEG-signaal beschouwd als een stochastisch signaal. Dit betekent dat uit een eindig tijdsinterval van het EEG-signaal een schatting voor het spectrum van het totale EEG-signaal verkregen moet worden.

Zo'n schatting vereist dat de statistische eigenschappen van het EEG-signaal onafhankelijk van de tijd (stationair) zijn. Daar het EEG-signaal afhankelijk is van de toestand van de patiënt is het EEG slechts stationair over korte tijd. Er wordt dan ook gezocht naar een schatter die representatief is voor een bepaalde conditie. Onderzoekingen hebben uitgewezen dat EEG-segmenten van ± 40-100 seconden redelijk stationair zijn.

Met de door ons toegepaste programmatuur (Fortran IV) worden de volgende spectra berekend.

1. Het auto-spectrum $\tilde{\tilde{\phi}}_{xx}(n \times \Delta f)$ waarin de variantie (vermogen) van het EEG-signaal als functie van de frequentie wordt weergegeven.

2. Het kruis-spectrum $\tilde{\tilde{\phi}}_{xy}(n \times \Delta f)$ dat de informatie geeft over de statistische samenhang tussen twee EEG-afleidingen en dat de covariantie (kruisvermogen) als functie van de frequentie weergeeft.

3. De coherentie-functie COH $(n \times \Delta t)$ die uit de schatters $\tilde{\tilde{\phi}}_{xy}(n \times \Delta f)$, $\tilde{\tilde{\phi}}_{xx}(n \times \Delta f)$ en $\tilde{\tilde{\phi}}_{yy}(n \times \Delta f)$ berekend wordt en die een maat is voor de lineaire relatie tussen beide EEG-afleidingen.

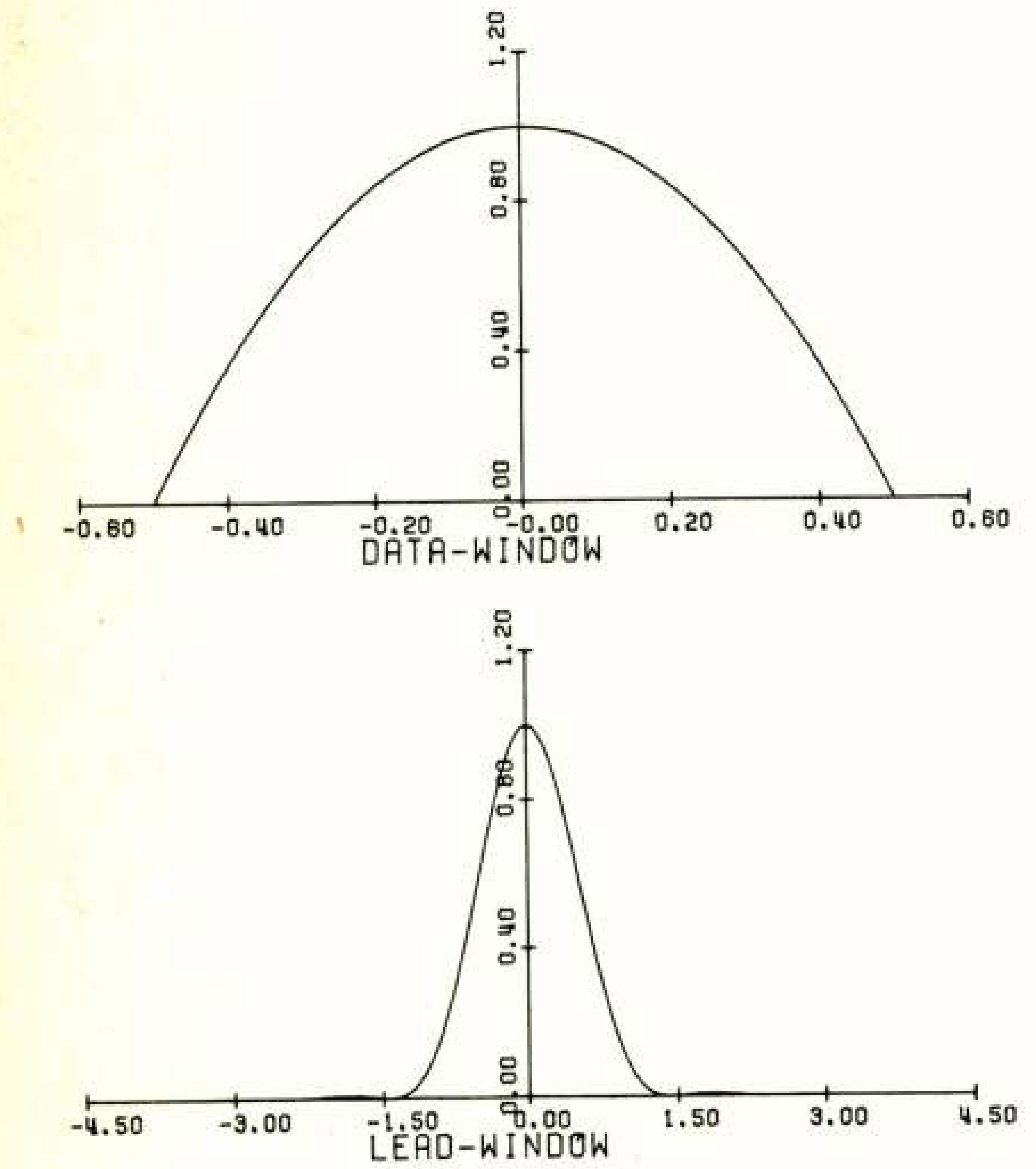
$$\text{COH}\,(n \times \Delta t) = \frac{|\tilde{\tilde{\phi}}_{xy}(n \times \Delta f\,|^2}{\tilde{\tilde{\phi}}_{xx}(n \times \Delta f) \times \tilde{\tilde{\phi}}_{yy}(n \times \Delta f)}$$

Schatting van de spectra

De spectraalfuncties van het EEG-signaal worden steeds uit een EEG-segment van 60 seconden berekend. Dit segment wordt in 11 elkaar half overlappende 10 seconden-epochs verdeeld. Om de interferentie tussen frequentiebanden binnen het spectrum (lek) te reduceren worden deze 10 seconden-epochs met een parabolisch data-window vermenigvuldigd (figuur 3).

Met behulp van de FFT worden de frequentiespectra van ieder epoch berekend. Uit deze frequentiespectra worden de autospectra en kruisspectra epochsgewijze berekend. Een eerste schatting van de autospectra en kruisspectra voor het totale EEG-segment wordt door middeling over de spectra van de 11 epochs verkregen. Een verbetering van de zo verkregen schatters wordt verkregen door een gewogen middeling over naburige frequentiecomponenten van deze schatters. De toegepaste weegfunctie is qua vorm identiek aan de spectraalfunctie van het data-window, echter met een oppervlakte gelijk aan 1 en een bandbreedte groot 0.4 Hz.

De zo gevonden afschattingen voor de autospectra en kruisspectra van het EEG-signaal hebben een oplossend vermogen van 0.4 Hz. De punten van de spectra gedragen zich volgens een Chi-kwadraatverdeling met 77 vrijheidsgraden. Hetgeen overeenkomt met een 1% betrouwbaarheidsinterval van ± 1.8 dB. Figuur 5 geeft de resultaten van een volgens deze wijze verwerkt EEG-signaal.



Figuur 3. Parabolische window-functie

Datareductie

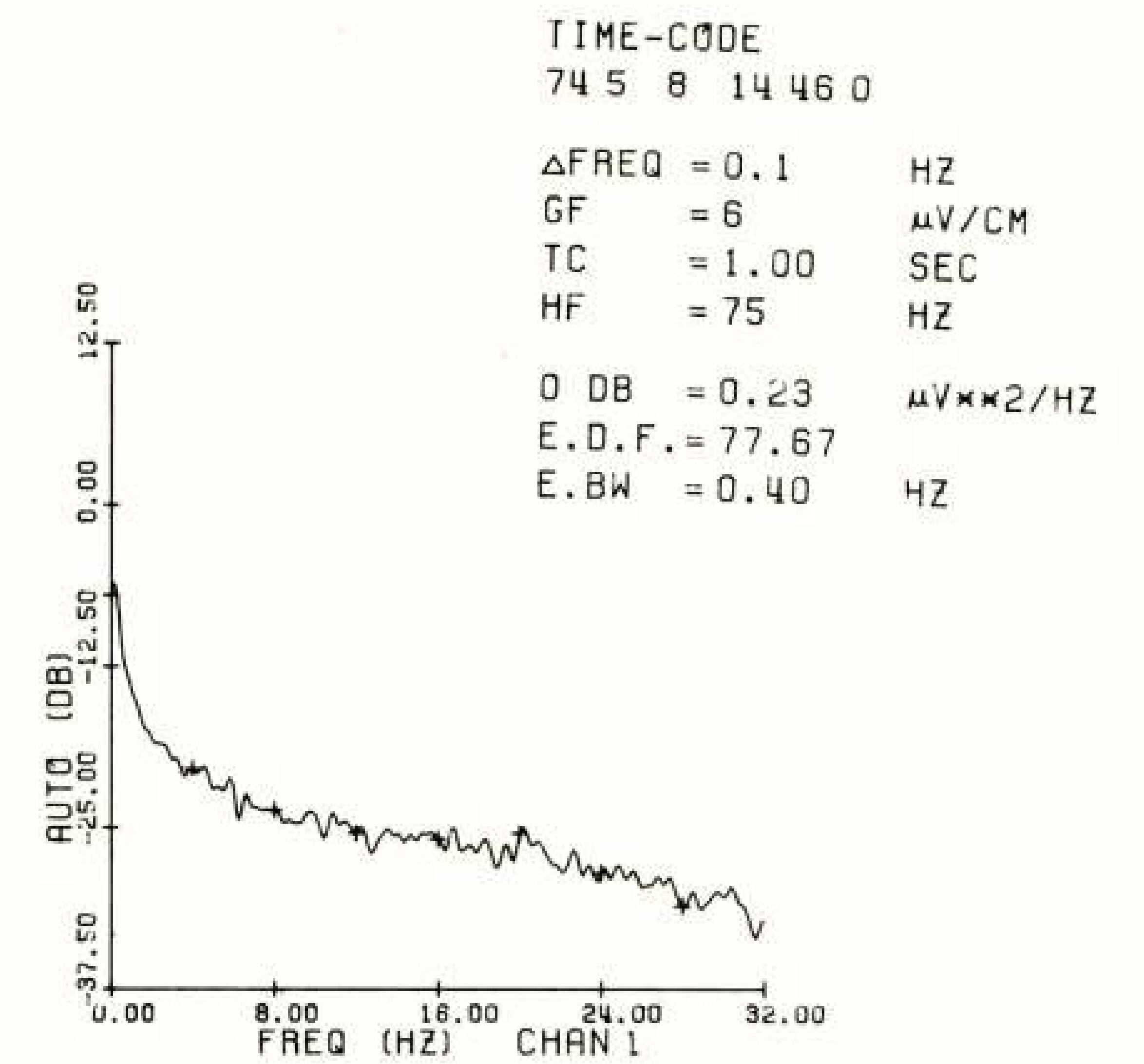
Voor de statistische verwerking van de verkregen spectra bevatten deze nog te veel parameters. Er moet dus nog een of andere vorm van datareductie toegepast worden. In een zeer simpele vorm zijn alleen de gegevens van de autospectra beschouwd. Als EEG-parameters zijn de vermogens in de door de EEG-specialist traditioneel gebruikte frequentiebanden i.c. δ-band = 1.5 - 3.4 Hz; θ-band = 3.5 - 7.4 Hz; α1-band = 7.5 - 9.4 Hz; α2-band = 9.5 - 13.4 Hz; β1-band = 13.5 - 17.4 Hz en β2-band = 17.5 - 25 Hz berekend. Deze parameters zijn uiteraard ook met bandfilter te verkrijgen.

Een tweede methode bepaalt die piekfrequenties die een bepaalde betrouwbaarheidslimiet (1%, 0.1%) overschrijden. Van deze piekfrequenties wordt het vermogen bepaald, terwijl tevens de coherentie tussen twee kanalen voor de piekfrequenties beschouwd wordt. Met deze coherentie kan het verband tussen de linker en rechter hersenhelft onderzocht worden, voor de relevante frequenties in het EEG-signaal.

TESTEN

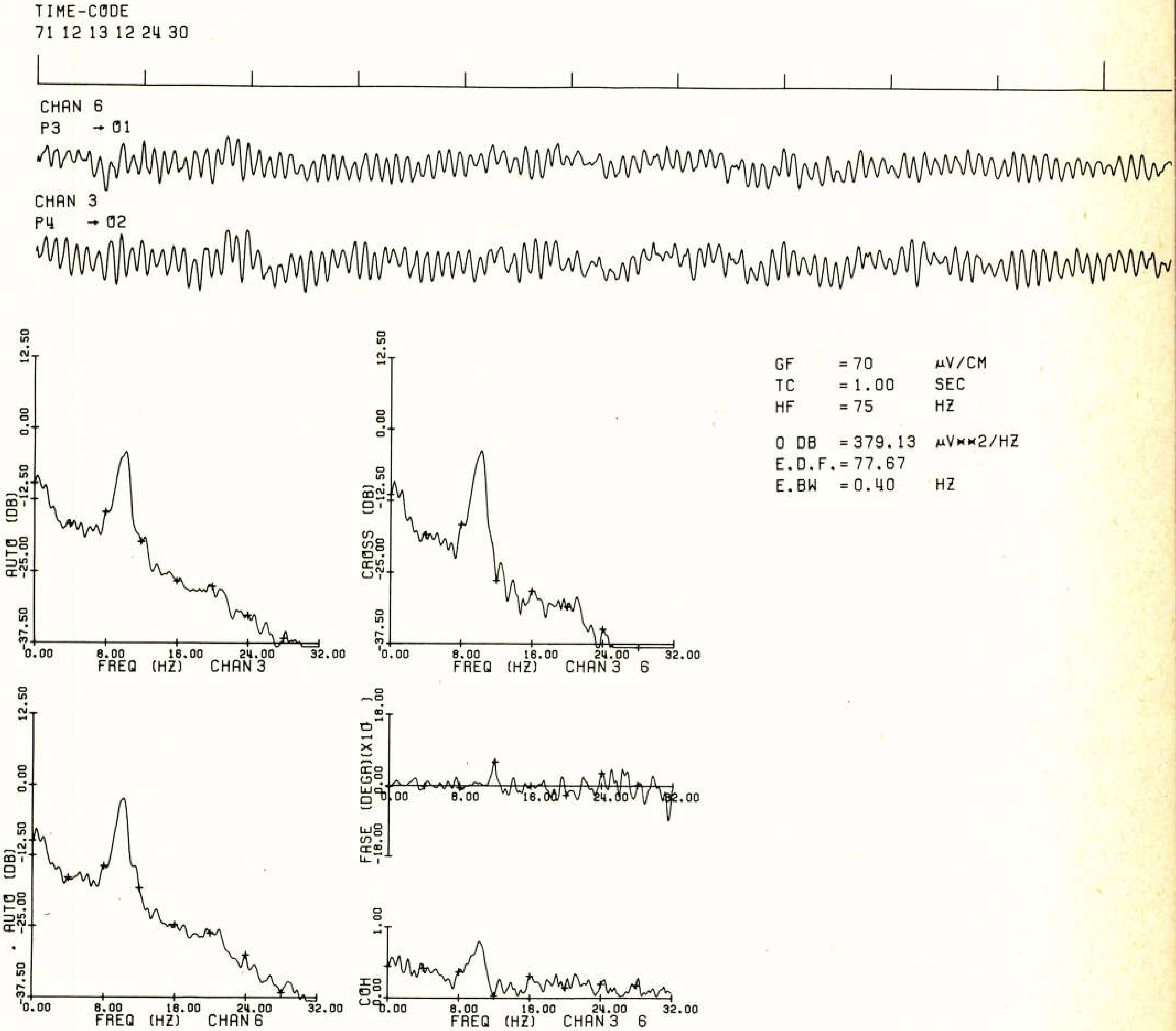
Het ligt voor de hand dat de kwaliteit van de dataverwerking in belangrijke mate afhankelijk is van de kwaliteit van het registratiesysteem. Hoewel de specificaties van de fabrikant bekend zijn is het daarom noodzakelijk van tijd tot tijd de werkelijke fouten en onnauwkeurigheden van het totale systeem te onderzoeken. Hierbij is vooral hun invloed op de berekende parameters van belang. Toepassing van de Fourier-analyse biedt met weinig extra inspanning twee elkaar aanvullende testmethoden. Beide methoden leveren informatie over de prestaties van het totale systeem, met uitzondering van de electroden.

Gemeten en onderzocht zijn de eigenschappen van de ruis in het registratiesysteem. Dit gebeurt door de spectrumberekening op deze ruis toe te passen, onder dezelfde condities als bij het verwerken van EEG-signalen. Op deze manier is gevonden dat de systeemruis over de frequentieband 1 - 32 Hz een vlak verloop heeft en dat de signaalruisverhouding ten opzichte van onze EEG-signalen beter dan 40 dB is. Beneden 1 Hz gaan driftverschijnselen een belangrijke rol in het spectrum spelen en wordt de signaalruisverhouding verlaagd tot 30 dB (figuur 4).



Figuur 4. Systeemruis

Met behulp van pseudobinaire ruis als testsignaal is het mogelijk de overdrachtsfunctie van het gehele systeem te berekenen. Deze ruis heeft essentieel slechts twee spanningsniveaus waartussen het signaal door middel van een random proces heen en weer geschakeld wordt. In de door ons toegepaste ruisgenerator (Hewlett & Packard H01 - 3722A) wordt dit proces bestuurd door een modulo 2 teruggekoppeld schuifregister. Wordt de pseudobinaire ruis bemonsterd met de schuiffrequentie (1/Δt) van de generator dan is het autospectrum $\phi_{xx}(n\times\Delta f)$ vlak. Daar het registratiesysteem lineair verondersteld mag worden, volgt de overdrachtsfunctie $H(n\times\Delta f)$ uit het quotiënt van het kruisspectrum $\phi_{xy}(n\times\Delta f)$, berekend uit de input en



Figuur 5. EEG van een 9-jarige jongen

output van het systeem, en het autospectrum van de pseudobinaire ruis.

$$H(n\times\Delta f) = \frac{\phi_{xy}(n\times\Delta f)}{\phi_{xx}(n\times\Delta f)}$$

De overdrachtsfunctie, een complexe grootheid, wordt in zijn amplitude- en fase-karakteristiek uitgedrukt.

Uit de resultaten van deze testmethode blijken de amplitude-karakteristieken van de kanalen van het registratiesysteem onderling minder dan 0.1 dB te verschillen.

De verschillen tussen de fase-karakteristieken zijn frequentie-afhankelijk en nemen toe. In het frequentiegebied 0 - 32 Hz zijn deze verschillen kleiner dan 6 graden. Oorzaak blijkt een constante tijdsvertraging tussen de kanalen als gevolg van de toleranties in de opname- en weergavekoppen van de instrumentatierecorder.

De gevonden fouten zijn echter klein ten opzichte van de betrouwbaarheid van de geschatte spectra en de variabiliteit van EEG-signalen.

LITERATUUR

1. BENGENIUS, Vernon A.
   Estimation of coherence-spectrum and its confidence intervals using the fast fourier transform.
   IEEE transactions on audio and electro-acoustics, vol. au-17, No.22 June 1969, pp 145-50
2. COOLEY, J.W., P.A.W. LEWIS & P.D. WELCH.
   The application of the gast fourier transform algorithm to the estimation of auto-spectra and cross-spectra.
   Symposium on computer processing in communications, April 1969, pp 5-20
3. DUMERMUTH, G.
   Electronic data processing in pediatric EEG-research.
   Neuropädiatric, vol. 2, no. 4 1971, pp 349-74
4. HJORTH, BO.
   EEG-analysis based on time domain descriptors.
   Electro Encheph. Clin. Neurophys., no. 22 1970, pp 306-10
5. ORMSBY, I.F.A.
   Design of nummerical filters with applications to missile data.
   I.Ass.Computing Mach., no. 8 1961, pp 440
6. WELCH, PETER D.
   The use of fast fourier transform for the estimation of power-spectra; A method based on time-averaging over short modified periodograms.
   IEEE transactions on audio and electro-acoustics, vol. au 15, no. 22 June 1967, pp 70-3

Voordracht gehouden op 23 januari 1975 in het Academisch Ziekenhuis Leiden, op een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 243) en de Benelux Section IEEE.

OVER DE TOEPASSING VAN FLUCTUATIESPECTROSCOPIE IN DE NEUROFYSIOLOGIE

Dr. J. de Goede
Laboratorium voor Fysiologie, Rijksuniversiteit van Leiden

From the analysis of spontaneous fluctuations of a physical quantity ("noise"), information can be obtained about dynamical properties of systems. This so-called fluctuation spectroscopy has been used to study the kinetic processes in the nerve membrane. The measured power spectra under current-clamp conditions consisted of several components. We discuss the different physical mechanisms which correspond to these components.

1. INLEIDING

In de macroscopische fysica worden aan fysische grootheden (zoals electrische stroom, druk enz.) goed gedefinieerde waarden toegeschreven. Deze moeten echter beschouwd worden als benaderingen, wat tot uiting komt in het bestaan van fluctuaties(zoals bijvoorbeeld de Brownse beweging en de lichtverstrooiing). De evenwichtsstatistische mechanica stelt ons o.a. in staat het gemiddelde kwadraat van deze fluctuaties in macroscopische evenwichtstoestanden van systemen te berekenen. We karakteriseren dan de instantane fluctuaties van deze fysische grootheden. We zijn echter meer geinteresseerd in tijdsafhankelijke fluctuaties (ook wel ruis genoemd). We willen dan weten hoe de uitwijkingen op verschillende tijden onderling met elkaar zijn gecorreleerd. Omdat de tijd nu in het probleem optreedt, ligt het buiten het bereik van de evenwichtsstatistische mechanica en vereist in principe de oplossing van de bewegingsvergelijkingen van veel-deeltjes systemen. Toch is het mogelijk gebleken met behulp van de theorie van stochastische processen een "short-cut" door te voeren in de algemene theorie van niet-evenwichtsprocessen.

Er zijn verscheidene redenen waarom de theorie van fluctuaties zich kan verheugen in een toenemende belangstelling.

In de eerste plaats vormen fluctuaties een obstakel in precisiemetingen. Om hun effect zo veel mogelijk te elimineren is de bestudering van fluctuaties van direct praktisch belang. Verreweg de meeste ruisstudies zijn dan ook uitgevoerd in de toegepaste electronica.

In de tweede plaats echter kunnen fluctuatieverschijnselen gebruikt worden om informatie te verkrijgen over dynamische eigenschappen van systemen. In plaats van ruis te bestrijden kunnen we het dus benutten als bron van informatie over fysische systemen. In de fysica heeft men reeds lang gebruik gemaakt van ruismetingen om dynamische eigenschappen van systemen te bestuderen, maar toen Verveen en Derksen (Verveen 1965) in 1962 begonnen de spontane electrische spanningsfluctuaties in geisoleerde zenuwvezels te meten en te analyseren betekende dit een nieuwe experimentele aanpak in de fysiologie, niet alleen in de neuro-fysiologie, maar vooral ook in het membraanonderzoek in het algemeen. In deze voordracht zullen we een overzicht geven van de resultaten zoals die tot nu toe in de geisoleerde zenuwvezels uit de nervus ischiadicus van de kikker verkregen zijn met deze fluctuatiespectroscopische methode.

2. FYSIOLOGISCHE ACHTERGROND

Het zenuwstelsel van hogere organismen kan beschouwd worden als een communicatie-systeem, waarin signalen van electro-chemische aard worden getransporteerd (Davson 1970). De bouwstenen van dit communicatiesysteem worden gevormd door de zenuwcellen(neuronen), die in het algemeen bestaan uit de volgende onderdelen: het soma of cellichaam, het axon, de dendrieten en de synapsen (zie fig.1). Een neuron ont-

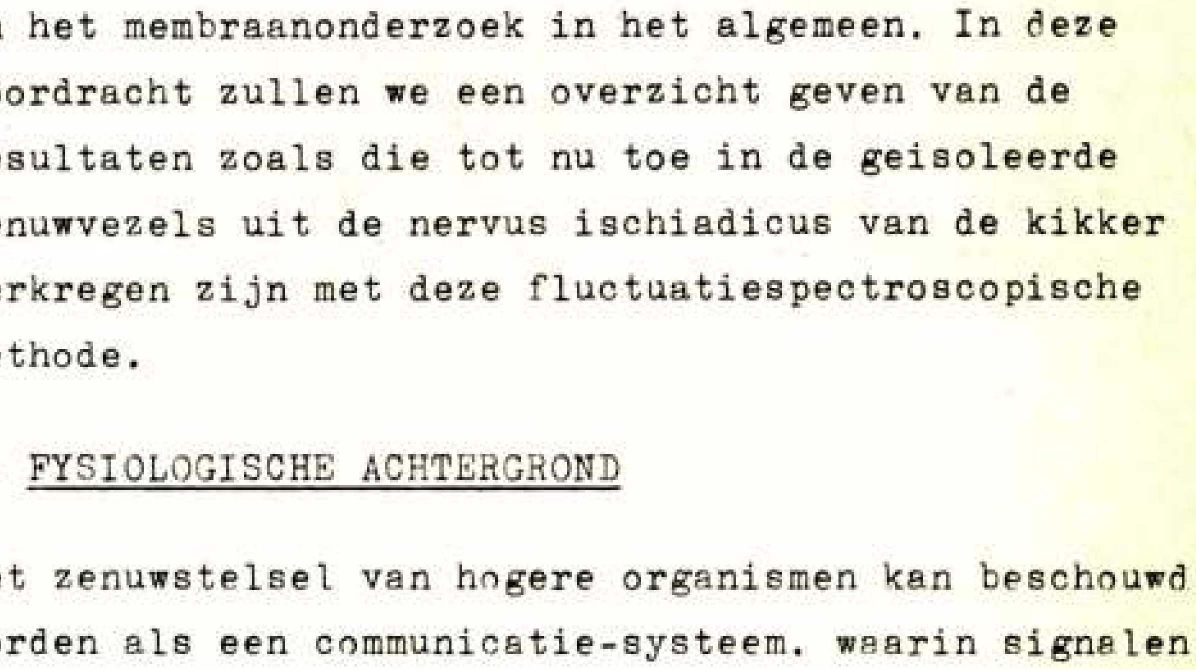


fig.1. Schematische tekening van een neuron

vangt signalen van vele andere neuronen via kontakten (de synapsen) die op het cellichaam en de dendrieten liggen. In het cellichaam worden deze synaptische signalen gesommeerd en indien het totale signaal een bepaalde waarde ("drempel") overschrijdt, wordt een electrisch signaal, een zgn. actiepotentiaal, gegenereerd (zie fig.2.) die zich onverzwakt langs een kabel, het axon, voortplant. Zoals

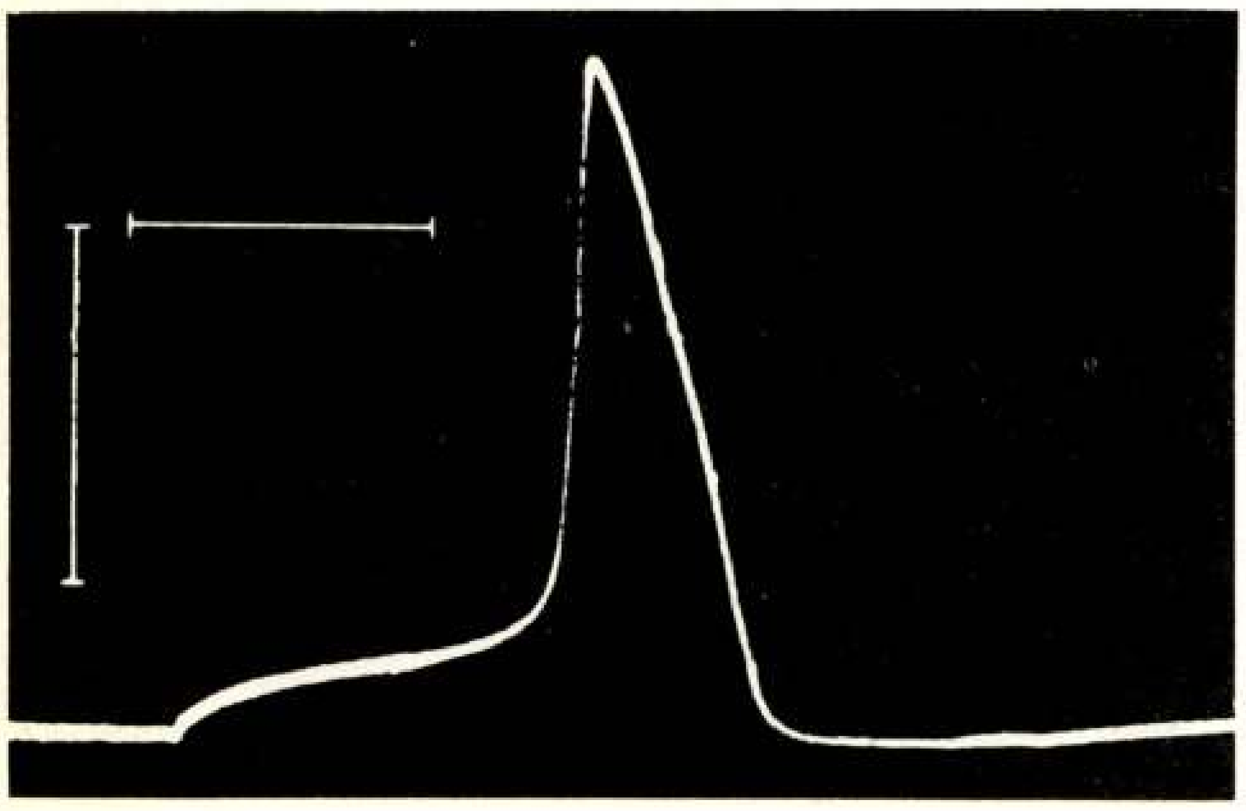


fig.2. Actiepotentiaal van de knoop van Ranvier

alle cellen hebben neuronen een celmembraan, dat een goed geleidende electrolietische binnenoplossing scheidt van een anders samengestelde, geleidende buitenoplossing. Het axon van zgn. motorneuronen is bovendien omgeven door een isolerende laag("myelineschede"), die op regelmatige plaatsen onderbroken is. Een insnoering van deze myeline-schede wordt de knoop van Ranvier genoemd. Het ontstaan en voortplanten van actiepotentialen kan begrepen worden in termen van twee factoren n.l. membraan-excitatie en geleiding langs het axon. Het excitatie-mechanisme omvat een snelle, reversibele, zeer specifieke verandering in ionenstromen door de celmembraan. De kabelgeleidingseigenschappen veroorzaken dat deze veranderingen zich langs het axon voortplanten met een snelheid die door de membraanimpedantie en de ohmse weerstanden van de electrolietoplossingen binnen en buiten het axon wordt bepaald.

De meeste excitatieverschijnselen in het axon kunnen beschreven worden in termen van het zogenaamde Hodgkin-Huxley formalisme. Deze fenomenologische theorie geeft een quantitatieve beschrijving van de membraanpermeabiliteitsveranderingen die de fysische basis vormen voor het excitatiemechanisme.

3. DE "VOLTAGE-CLAMP" EXPERIMENTEN EN DE HODGKIN-HUXLEY VERGELIJKINGEN

Het vermogen van axonen om electrische potentiaalverschillen te genereren over de membraan wordt veroorzaakt door de selectieve ionen-permeabiliteit van het membraan (Cole 1968). Het axoplasma (de binnenoplossing) bevat een hoge concentratie kalium-ionen en een lage natrium-ionen concentratie. In de uitwendige electrolietoplossing is de situatie juist omgekeerd. Deze relatieve concentratie-verschillen worden in stand gehouden door het zgn. actief transport (natrium-kalium pomp).
In rust is de membraan hoofdzakelijk permeabel voor kalium-ionen, hetgeen resulteert in een rustmembraanpotentiaal van ongeveer -70 mV (binnen negatief). Een actiepotentiaal is nu een transient van deze transmembraanpotentiaal, met een amplitude van ongeveer 100 mV en een duur van ongeveer 1 msec. De actiepotentiaal ontstaat door (zie fig.2) snelle tijdelijke veranderingen in de permeabiliteiten van de natrium- en kalium-ionen. De actiepotentiaal is een explosieve gebeurtenis ("alles of niets" verschijnsel) gedurende welke noch de ionen-stroom noch de membraanspanning experimenteel geregeld kan worden. De "voltage-clamp techniek" is een methode om door middel van electronische terugkoppeling de membraanpotentiaal een (willekeurige) voorgeschreven tijdsverloop te geven (op te drukken) en de conductantieveranderingen in de membraan waar te nemen als veranderingen in de ionenstromen. In de praktijk wordt de membraanpotentiaal stapsgewijs gewijzigd. In het algemeen bestaat de membraanstroom ten dele uit een verplaatsingsstroom die de membraancapaciteit oplaadt en ten dele uit een ionenstroom. Echter, in een voltage-clamp met stapvormige spanningsveranderingen komt de verplaatsingsstroom tot uiting als een zeer kort-durende puls, waardoor met de voltage-clamp methode direct de ionenbeweging wordt gemeten.

Voltage-clamp experimenten zijn voor het eerst verricht aan het reuzen axon van de inktvis (Loligo forbesi) door Hodgkin en Huxley. Het is gebleken dat het daaruit voortvloeiende mathematische model met kleine wijzigingen ook geldig is voor vele andere exciteerbare membranen, waaronder de knoop van Ranvier. Twee experimentele waarnemingen maken het mogelijk om de totale ionenstroom te splitsen in een kaliumstroom, een natriumstroom en een "lekstroom". De laatste bestaat uit grotendeels niet-geidentificeerde ionen. Als drijvende kracht voor een ion-soort kan het verschil van electrochemische potentiaal genomen worden over de membraan. Bij de evenwichtspotentiaal voor een ion-soort is de netto-stroom voor dat ion gelijk nul. Verder

blijken de partiële ionen-stromen onafhankelijk van elkaar te zijn, zodat bepaalde ionen experimenteel vervangen kunnen worden door andere ionen zonder dat de overige ionenstromen verstoord worden. De totale ionenstroom kan gescheiden worden in twee hoofdstromen, n.l. een natriumstroom, een kaliumstroom en de genoemde lekstroom (zie fig.3).

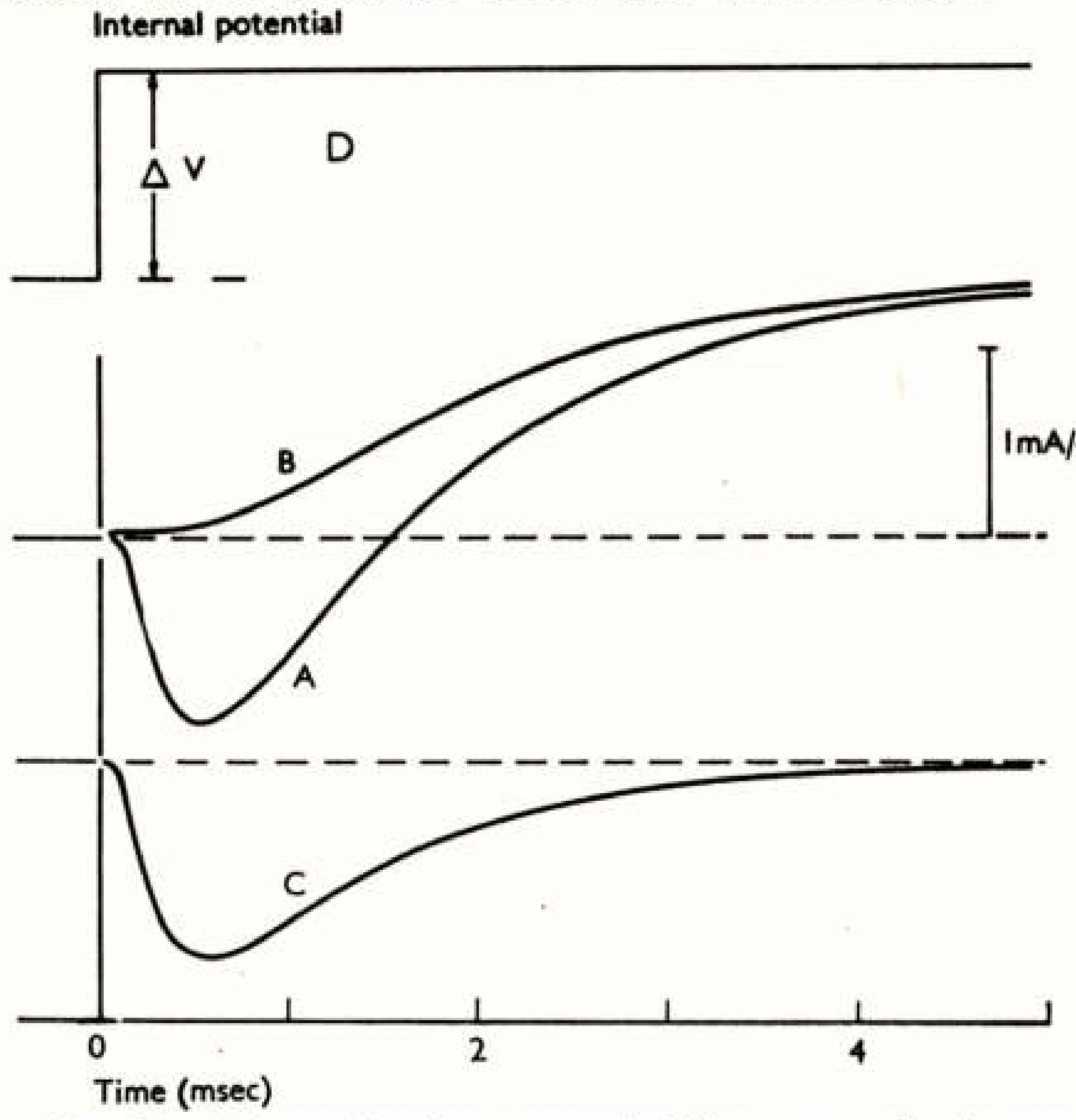


fig.3. Schematische voorstelling van de ionenstromen in a voltage-clamp experiment. a) $I_{Na}+I_K$. b) I_K. c) I_{Na}. d) potentiaal sprong.

Voor de totale stroom I kan nu geschreven worden

$$I = I_D + I_K + I_{Na} + I_L , \qquad (1)$$

waarin I_D de verplaatsingsstroom, I_K de kaliumstroom, I_{Na} de natriumstroom en I_L de lekstroom is.

De verplaatsingsstroom kan in eerste benadering geschreven worden als

$$I_D = C_M \frac{dV}{dt} , \qquad (2)$$

met C_M de membraancapaciteit en V de transmembraanspanning t.o.v. de buitenoplossing die gekozen is als referentie. We spreken van depolarisatie als we het potentiaalverschil over de membraan kleiner maken (minder negatief), van hyperpolarisatie als we het potentiaalverschil groter maken (meer negatief). Een handige manier om de permeabiliteit voor natrium-, kalium-, en lek-ionen in een membraan te representeren is in termen van de respectievelijke geleidingsvermogens g_{Na}, g_K en $\overline{g_L}$. Deze zijn gedefinieerd als

$$I_{Na} = g_{Na} \, (V-V_{Na}) , \qquad (3)$$

$$I_K = g_K \, (V-V_K) , \qquad (4)$$

$$I_L = \overline{g_L} \, (V-V_L) . \qquad (5)$$

In deze relaties zijn V_{Na}, V_K en V_L de evenwichtspotentialen.
Zij worden gegeven door de Nernst-formule bijv.

$$V_{Na} = - \frac{RT}{F} \ln \frac{(C_{Na})_i}{(C_{Na})_0} , \qquad (6)$$

met R de gasconstante, T de absolute temperatuur, F de constante van Faraday, $(C_{Na})_i$ de natriumconcentratie in het axoplasma en $(C_{Na})_0$ de natriumconcentratie in de buitenoplossing. I_{Na}, I_K en I_L zijn ionenstromen waarbij een buitenwaarts gerichte stroom positief wordt gerekend (zie fig.4). $\overline{g_L}$ is een

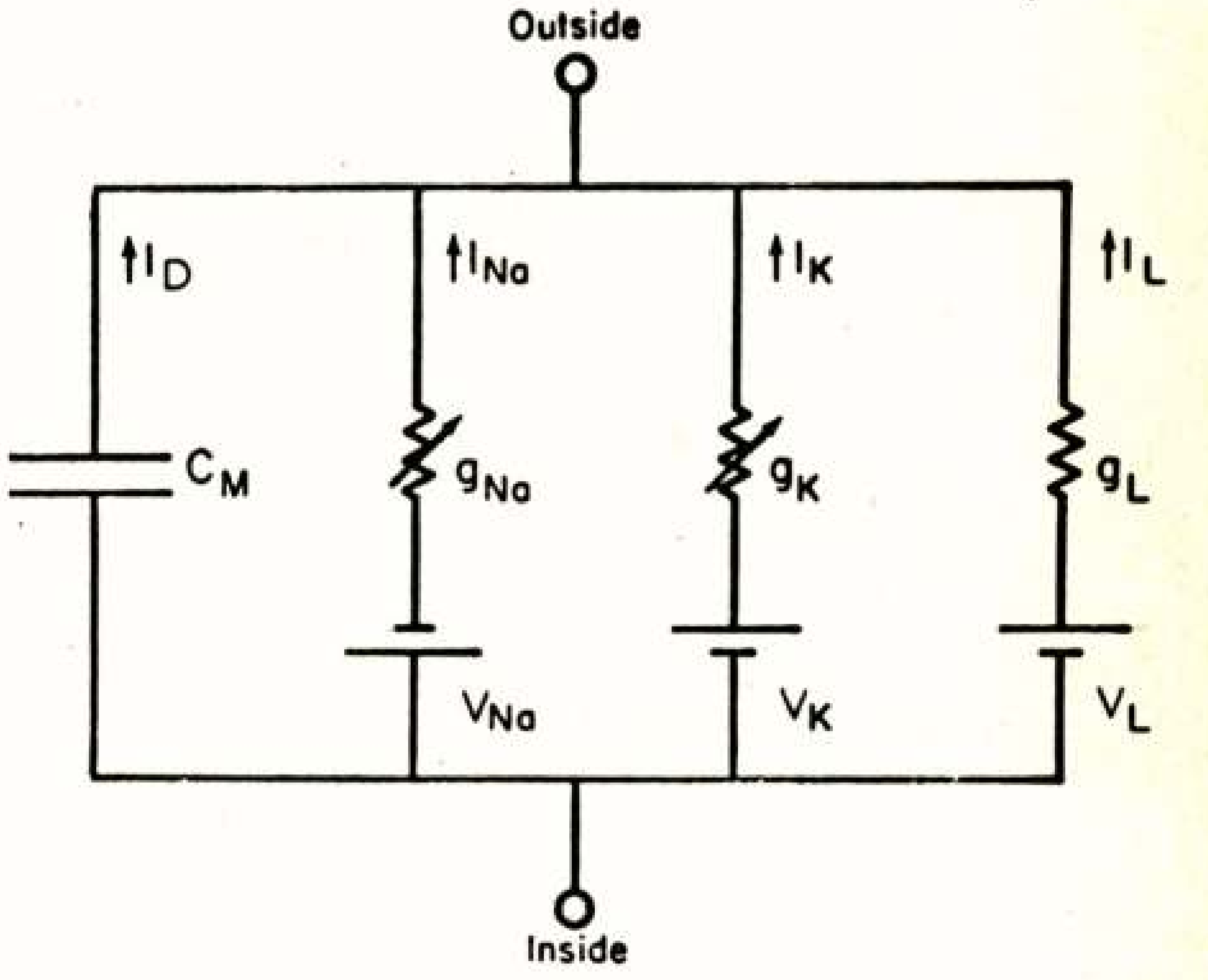


fig.4. Equivalent circuit van de knoop van Ranvier.

constant geleidingsvermogen, onafhankelijk van de tijd en de membraanspanning. Uit de resultaten van de voltage-clamp experimenten kunnen empirische relaties gevonden worden voor de parameters g_{Na} en g_K en wel

$$g_{Na} = \overline{g_{Na}} \, m^3 h \qquad (7)$$

$$g_K = \overline{g_K} \, n^4 \qquad (8)$$

waarin m^3h en n^4 de fracties van het natrium- en kalium-geleidingsvermogen representeren die actief zijn. De parameters m, h en n voldoen aan de volgende eerste orde vergelijkingen:

$$\frac{dn}{dt} = \alpha_n(1-n) - \beta_n n , \qquad (9)$$

$$\frac{dm}{dt} = \alpha_m(1-m) - \beta_m m , \qquad (10)$$

$$\frac{dh}{dt} = \alpha_h(1-h) - \beta_h h , \qquad (11)$$

waarin de snelheidskonstanten α_i en β_i (i = n,m,h) functies zijn van V. De sigmoide vorm van de stromen die waargenomen wordt na een depolarizerende stap wordt teweeggebracht door de parameters m en n tot de eerder genoemde machten te verheffen. Bij elke

membraan potentiaal V relaxeren de waarden van h, m, n naar de waarden m_∞, h_∞ en n_∞ langs een exponentieel tijdsverloop met tijdsconstanten τ_m, τ_h en τ_n naar de nieuwe stationaire toestand met $\tau_n = \frac{1}{\alpha_n+\beta_n}$ en soortgelijke uitdrukkingen voor τ_m en τ_h, en $n_\infty = \frac{\alpha_n}{\alpha_n+\beta_n}$ met analoge uitdrukkingen voor m_∞ en h_∞. Voor het kaliumsysteem hebben we dit in fig.5. schematisch weergegeven.

Het is gebleken dat de relatief eenvoudige permeabiliteitsveranderingen van de membraan op veranderingen in de membraan-potentiaal in de voltage-clamp experimenten voldoende zijn om de meeste verschijnselen in de electro fysiologie bevredigend te beschrijven. Wij vestigen er de aandacht op dat deze empirische beschrijving slechts geverifieerd is voor tijden van de orde van grootte van de duur van een actiepotentiaal (enkele msec.).

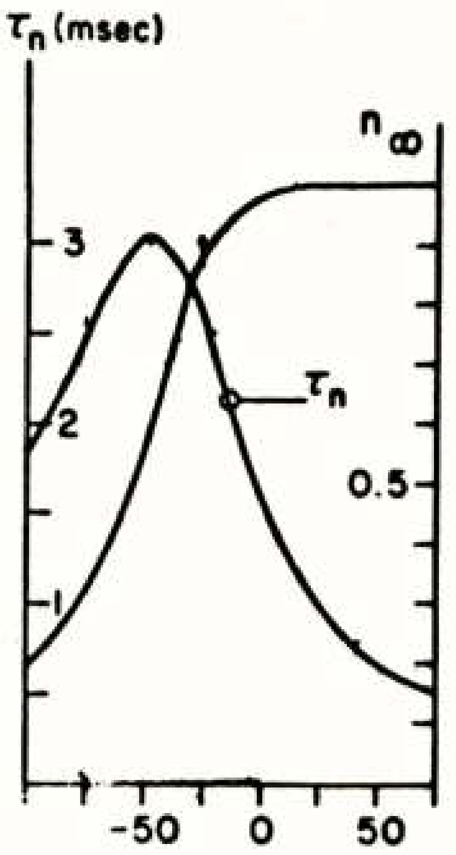


fig.5. Schematische kurven voor τ_n en n_∞ voor de knoop van Ranvier van de kikker.

4. DE FYSISCHE BETEKENIS VAN DE HODGKIN-HUXLEY VERGELIJKINGEN

Een fundamentele opgave van de neurofysiologie is nu het opsporen van de fysische mechanismen die de permeabiliteitsveranderingen regelen en waardoor een actiepotentiaal gegenereerd kan worden die zich onverzwakt voortplant. Het belangrijkste probleem is dan ook de interpretatie van de parameters in het Hodgkin-Huxley model in termen van moleculaire processen. Een goed ontwikkeld mathematisch model bevat echter aanwijzingen voor de fysische processen die aan het verschijnsel ten grondslag liggen. Hodgkin en Huxley hebben nu de volgende interpretatie voorgesteld (Hodgkin 1952). De permeabiliteit van de ionen door het membraan wordt bepaald door het electrische veld. Geladen deeltjes of dipolen nemen een nieuwe verdeling aan na een verandering in de membraanpotentiaal. De deeltjes of dipolen openen wegen, waardoor ionen door het membraan kunnen stromen door bepaalde posities in te nemen. Om de sigmoide vorm van het tijdsverloop van de conductanties te beschrijven, wordt aangenomen dat meer dan één deeltje (dipool) nodig is om een "kanaal" te activeren. In het model worden de deeltjes aangegeven met h, m en n waarin m^3h de waarschijnlijkheid is dat drie m-deeltjes en één h-deeltje de juiste posities innemen om een kanaal voor de natriumionen te openen en n^4 de waarschijnlijkheid dat vier n-deeltjes de juiste positie innemen voor het openen van een kanaal voor de kaliumionen. In de vergelijkingen vormen de permeabiliteits mechanismen onafhankelijke fysische processen. Het succes van het Hodgkin-Huxley model is een eerste aanwijzing, dat de natrium- en kalium-ionen zich door structureel gescheiden kanalen bewegen.

5. FLUCTUATIES IN DE MEMBRAANPOTENTIAAL VAN DE KNOOP VAN RANVIER IN STATIONAIRE TOESTAND

Zenuwmembranen, zoals de knoop van Ranvier, blijken spontane spanningsfluctuaties te vertonen(Verveen 1974). Zoals gezegd kunnen deze spanningsfluctuaties benut worden om dynamische processen, die zich in het membraan afspelen, te bestuderen.

Een van de redenen waarom fluctuatie-spectroscopie tot voor kort vrijwel niet werd toegepast in electrolietische systemen is gelegen in de technische moeilijkheden om kleine fluctuaties te meten en de verschillende ruisbronnen te scheiden. Deze moeilijkheden zijn nu gedeeltelijk opgelost door recente ontwikkelingen in het instrumentarium, zodat de analyse van fluctuaties nu een interessante techniek is geworden om informatie te verkrijgen over moleculaire processen in membranen.

Omdat het gebruik van inwendige electroden onmogelijk is in het door ons gebruikte preparaat, moeten aangrenzende knopen gebruikt worden als "input-output terminals". In een "three-terminal arrangement" is de centrale knoop het enige gemeenschappelijke element in het symmetrische circuit van fig.6. Goede isolering tussen de drie opeenvolgende knopen kan bereikt worden door negatieve seriefeedback ("guard ring" schakeling). Kruiscorrelatie van de gemeten ruisbronnen zorgt er voor dat in grote trekken hoofdzakelijk de ruis van de centrale knoop in het gemeten vermogensspectrum overblijft. Ruisbronnen die veroorzaakt worden door verschillende fysische mechanismen geven elk weer een ander aspect van het dynamische gedrag van zenuwmembranen weer. We zullen nu de verschillende ruiscomponenten, die gemeten zijn in de knoop van Ranvier, bespreken.

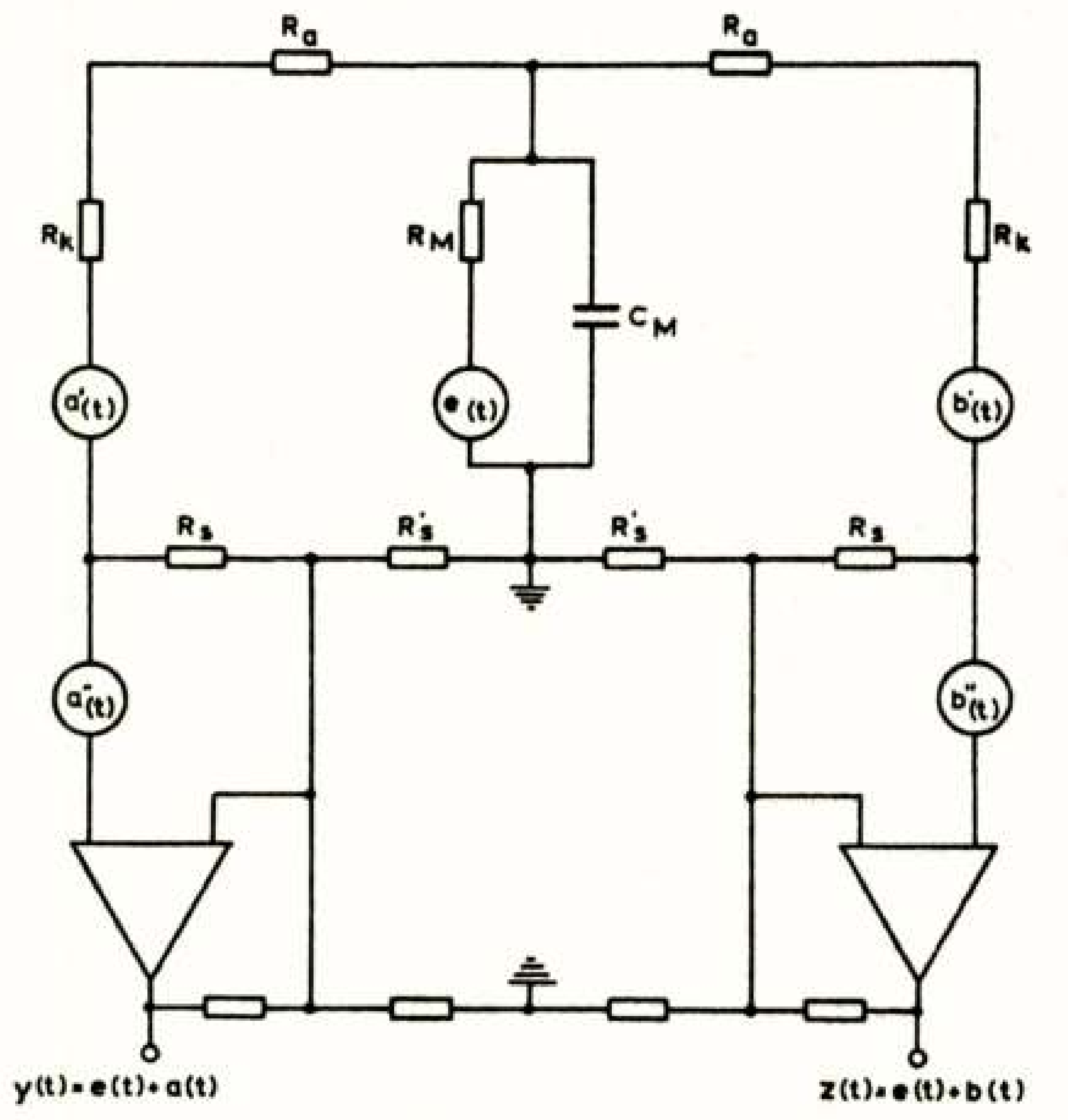


fig.6. Schema van de drie terminal arrangement voor ruismetingen voor de knoop van Ranvier. De knoop wordt voorgesteld door een eenvoudig electrisch model. R_m weerstand centrale knoop; C_m membraancapaciteit; R_a weerstand axoplasma; R_k weerstand buitenknop; R_s en R_s' shunt-weerstanden langs tussenknopen; e(t) membraanruis; a'(t) en b'(t) ruis van axoplasma en buitenknoop; a"(t) en b"(t) versterkerruis (Siebenga 1973a).

a) <u>Thermische ruis</u>

Thermische ruisspanning heeft een spectrale dichtheid $S_{Th}(f)$ die evenredig is met het reële gedeelte van de (passieve) membraanimpedantie

$$S_{Th}(f) = 4kT \text{ Re } Z_m(f), \qquad (12)$$

waarin $S_{Th}(f)$ de spectrale dichtheid van de ruisspanning is, k de konstante van Boltzmann, $Z_m(f)$ de totale impedantie van het membraan en f de frequentie. Uit het thermische ruisspectrum kan dus de passieve membraanimpedantie gevonden worden. We merken op dat deze formule slechts afgeleid is voor systemen in thermodynamische evenwicht. Celmembranen bevinden zich echter altijd in een stationaire toestand. In de praktijk blijkt dit geen complicaties te geven.

b) <u>1/f-ruis</u>

Historisch gezien is deze ruissoort de eerste die Verveen en Derksen gemeten hebben in de knoop van Ranvier (fig.7.). In de theorie van de ruisverschijnselen vormt de 1/f-ruis een fascinerend maar zeer moeilijk vraagstuk. Er is geen algemene theorie bekend. De moeilijkheid is, dat het niet mogelijk is, plausibele elementaire processen te bedenken die aanleiding geven tot deze ruis (misschien met uitzondering van enkele gevallen in de theorie van halfgeleiders). Voor de 1/f-ruis in electrolietoplossingen neemt men aan, in navolging van Hooge

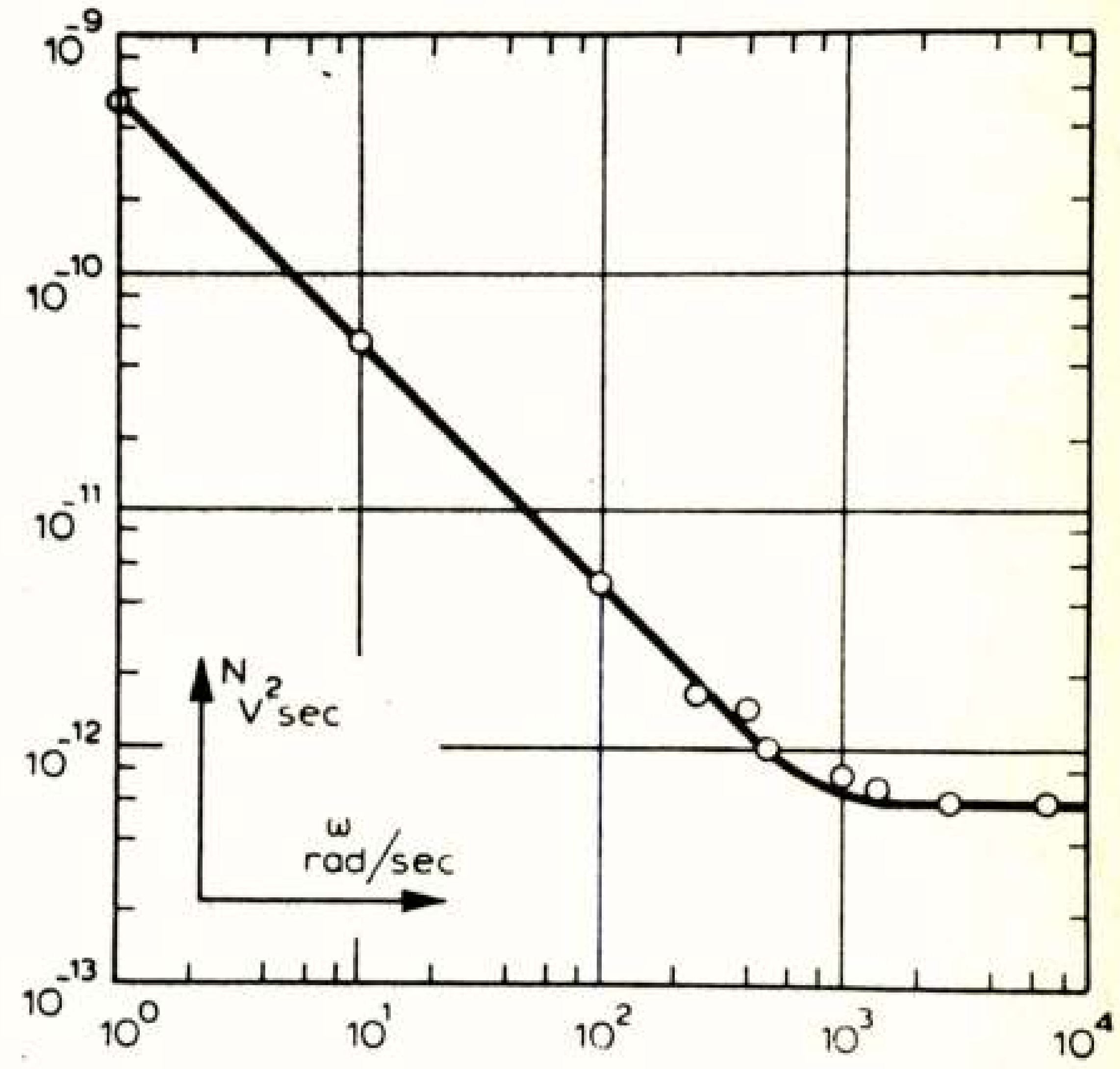


fig.7. Vermogensspectrum bij de rustmembraan potentiaal (Derksen 1965).

(Hooge 1972), dat deze ruis veroorzaakt wordt door fluctuaties in de beweeglijkheid van de ladingsdragers. Experimenteel is gebleken dat de drie kanaalsystemen alle 1/f-ruis genereren. Het zou interessant zijn om te proberen de fenomenologische formules voor 1/f ruis in electrolietoplossingen van Hooge toe te passen op de knoop van Ranvier.

c) <u>Burstruis</u>

De "ruisuitbarstingen" welke optreden bij hyperpolarisatie zijn experimenteel moeilijk te onderzoeken. Het spectrum blijkt evenredig met $1/f^2$ te zijn. Het vermoeden bestaat dat deze ruis gelieerd is met het leksysteem en veroorzaakt wordt door tijdelijke "gatvorming" in het leksysteem(Van den Berg 1974). Indien dit vermoeden juist is, zou burstruis ons iets kunnen leren over de eigenschappen van het leksysteem. Deze ruis is echter nog niet goed onderzocht.

d) Kanaalconductantie-ruis

Conductantiefluctuaties in zenuwmembranen ontstaan wanneer de mechanismen die de permeabiliteit van de membraan bepalen stochastisch van aard zijn. (Dit zal altijd het geval zijn op een bepaald niveau) Afhankelijk van het microscopische model zullen de conductantiefluctuaties aanleiding geven tot verschillende typen ruisspectra. Eén van de bijdragen van ruisonderzoek zal dan ook kunnen zijn het experimenteel onderscheiden tussen verschillende microscopische modellen. Als voorbeeld zullen we de ruisspectra berekenen van een bepaalde stochastische interpretatie van de Hodgkin en Huxley vergelijkingen (Hill 1972, Stevens 1972). We zullen het ruisspectrum bepalen van het kaliumsysteem; het spectrum voor het natriumsysteem kan op analoge wijze gevonden worden. Laten we veronderstellen dat er N onafhankelijke kaliumkanalen zijn die geleiden met geleidingsvermogen γ of niet geleiden. Elk kanaal wordt "bewaakt" door vier onafhankelijke macromoleculen die in twee conformaties w en v kunnen voorkomen. Een kaliumkanaal geleidt als de vier macromoleculen alle in bijv. de w conformatie zijn; in alle andere gevallen geleidt het kaliumkanaal niet. De snelheidskonstanten van de overgangen tussen w en v zijn spanningsafhankelijk en worden gegeven door de Hodgkin-Huxley parameters α_n en β_n. We kunnen de spectrale dichtheid S_c van de fluctuaties in het geleidingsvermogen nu op eenvoudige wijze voor dit model berekenen. Deze wordt gegeven door

$$S_c(f) = N\gamma^2 n_\infty^4 \sum_{j=1}^{4} \binom{4}{j} n_\infty^{4-j}(1-n_\infty)^j \times \frac{2\frac{\tau_n}{j}}{1+(2\,f\,\frac{\tau_n}{j})^2} \qquad (13)$$

Om een uitdrukking te vinden voor het spectrum S_v van de ruisspanning veroorzaakt door de conductantiefluctuaties onder de conditie van constante stroom, maken we gebruik van de conversieformule

$$S_v(f) = |Z_m|^2 S_c(f)(V-V_k)^2 \qquad (14)$$

Experimenteel is gebleken dat de membraanimpedantie onafhankelijk is van de frequentie tot ongeveer 200 Hz. In dit frequentiegebied is dus het vermogensspectrum van de ruisspanning direct evenredig met het spectrum van de fluctuaties in het geleidingsvermogen van het kaliumsysteem. In deze stochastische interpretatie van het Hodgkin-Huxley model kan $\bar{g}k$ geinterpreteerd worden als

$$\bar{g}k = N\gamma \qquad (15)$$

We zien dus dat meting van het spectrum van de fluctuaties in de conductanties gecombineerd met n_∞ en $\bar{g}k$ (bijv. uit voltage-clamp experimenten)ons in staat stellen het aantal kalium-kanalen N en het geleidingsvermogen γ van één kanaal te berekenen. Bovendien voorspelt de theorie een verband tussen de afsnijdfrequentie van het spectrum en de tijdsconstante τ_n. Inderdaad heeft Siebenga bij depolarizatie een lorentziaanse component in het vermogensspectrum gevonden (zie fig.8) die toegeschreven kon

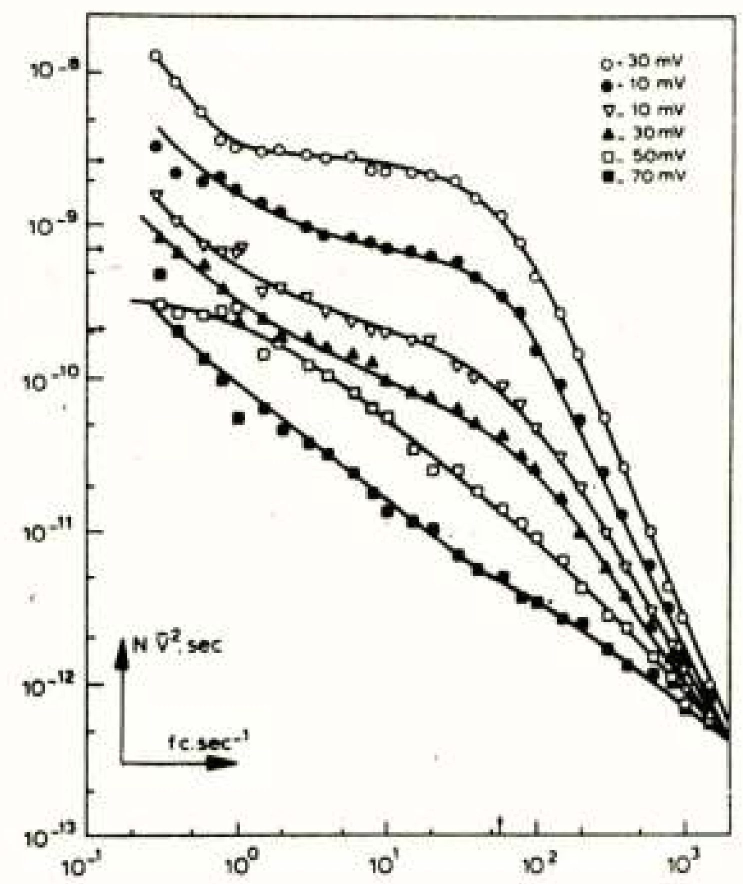


fig.8. Ruisspanningsspectra van een knoop van Ranvier (Siebenga 1973).

worden aan het kaliumsysteem,maar deze component bleek niet in overeenstemming te zijn met de theorie (Van den Berg 1975).

Soortgelijke formules als bovenstaande kunnen afgeleid worden voor het natriumsysteem. Met farmaca is het mogelijk het kaliumsysteem volledig te blokkeren, zonder dat het natriumsysteem en het leksysteem beïnvloed worden. Van den Berg (Van den Berg 1975) is het gelukt in het overgebleven spectrum een lorentzcomponent te isoleren, die toegeschreven kon worden aan het natriumsysteem. Deze component blijkt in goede benadering beschreven te kunnen worden als de fluctuaties in het h-deeltjes mechanisme en leverde een geleidingsvermogen per natriumkanaal op van ongeveer $10^{-12}\,\Omega^{-1}$ en een aantal kanalen van 5.10^4 per knoop.

e) Shot-noise

Ruis veroorzaakt door het corpusculaire karakter van de ladingsdragers (shot-noise) is tot nu toe niet gevonden. Deze ruis zou ons o.a. informatie kunnen verschaffen over de looptijd van de diverse ladingsdragers door het membraan.

NABESCHOUWING

Zoals uit het bovenstaande duidelijk is geworden staat het ruisonderzoek aan de knoop van Ranvier nog aan het begin. Dit kan trouwens gezegd worden van de fluctuatie-spectroscopie in electroliet-systemen in het algemeen. Voor de interessante, andere toepassingen van de fluctuatie-spectroscopie in de neurofysiologie verwijzen we naar het overzichtsartikel van Verveen en DeFelice(Verveen 1974). Er is echter een toenemende belangstelling voor het bestuderen van kinetische processen met behulp van fluctuatie-spectroscopie, ook buiten de neurofysiologie. Het lijdt geen twijfel, dat deze techniek in de toekomst sterk ontwikkeld zal worden en veel bij zal dragen tot de kennis van membraanprocessen zowel in exciteerbare zenuwmembranen als andere membranen.

REFERENCES

Cole, K.S., "Membranes, ions and impulse", University of California Press, Berkeley 1968.

Davson, H., "A Textbook of General Physiology" vol. I, II, J. and A. Churchill, London 1970.

Derksen, H.E., Acta Physiol.Pharmacol.Neerl. 13 373 (1965).

Hill, T.D. en Chen, Y.D., Biophys.J. 12 948 (1972).

Hooge, F.N., Physica 60 130 (1972).

Siebenga, E., Meyer, A.W.A. en Verveen, A.A., Pflügers Arch. 341 87 (1973).

Siebenga, E. en Meyer, A.W.A., 343 165 (1973a).

Stevens, C.F., Biophys.J. 12 1028 (1972).

Van den Berg, R.J., persoonlijke mededeling (1974).

Van den Berg, R.J., De Goede, J. en Verveen, A.A., wordt gepubliceerd (1975).

Verveen, A.A. en DeFelice, L.J., "Membrane Noise" in Progress in Biophysics and Molecular Biology, Butler, A.J.V. en Noble, D.eds Pergamon Press New York 1974.

Verveen, A.A. en Derksen, H.E., Kybernetik 2 152 (1965).

Voordracht gehouden op 23 januari 1975 in het Academisch Ziekenhuis Leiden, op een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 243) en de Benelux Section IEEE.

HERSENONDERZOEK GEBASEERD OP BEELDVORMING MET ELEKTROMAGNETISCHE GOLVEN

Dr.Ir.W.Herstel
Afdeling Radiologie, Rijksuniversiteit Leiden

Image forming methods for examining the human head are essentially forms for the non-destructive testing of living materials. Thermography can be used for the recording of superficial heat radiation patterns. When it comes to the studying of details in deeper lying tissues, such as the skull or the brain, one has to resort to the use of a penetrating radiation: x-rays and gamma-rays. The usefulness of the pictures depends largely on the physical properties of these rays and on the image formation and processing. In many cases image contrasts are artificially enhanced. Modulation transfer functions are generally used for the quantification of picture degradation. To a certain extent photographic subtraction, electronic contrast enhancement and computer processing can make the information more accessible.

Onderzoek van het hoofd waarbij het gaat om afbeelding van anatomische strukturen is een vorm van non-destruktief onderzoek van levende weefsels. In het ideale geval zal de beeldvorming geen aanleiding geven tot veranderingen in de weefsels en verder moet het onderzoek zo mogelijk zonder schade kunnen worden uitgebreid of herhaald. De funkties van het menselijk brein zijn zo essentieel en de weefsels zijn zo kwetsbaar dat het onderzoek geen stoornis, ook niet van voorbijgaande aard, mag veroorzaken. Van de vele beeldtechnieken, die gebruikt worden in de hersendiagnostiek wordt hier alleen aandacht geschonken aan die, welke gebaseerd zijn op hun gevoeligheid voor infrarood, röntgenstralen en gammastralen. Veelbelovend is ook het gebruik van ultrasonore trillingen, dit komt in een andere voordracht ter sprake.

BEELDVORMING MET RÖNTGENSTRALING

Waar het gaat om hersenonderzoek is de röntgenstraling verreweg het meest gebruikte hulpmiddel bij de beeldvorming. Dit komt omdat röntgenstraling niet alleen vrij eenvoudig op te wekken is maar ook voor dit doel uiterste geschikte eigenschappen heeft zoals een sterk doordringend vermogen en een sterke wisselwerking met de materie. Hierdoor is de straling met eenvoudige middelen al te gebruiken voor beeldvorming (b.v. door toepassing van luminescentie en fotografisch effekt). De röntgenstraling wordt opgewekt in röntgenbuizen door in een sterk elektrisch veld versnelde elektronen abrupt af te remmen. De snelste elektronen bepalen de kortste golflengte van het opgewekte spectrum, dat een continu karakter heeft afgezien van een aantal lijnen die karakteristiek zijn voor het anodemateriaal van de röntgenbuis. Voor hersenonderzoek zijn buisspanningen tussen 80 kV en 120 kV gangbaar. De straling is zeer kortgolvig; de grootteorde van de golflengte is 10^{-11}m en van de frekwentie 10^{19}Hz. De absorptie van de straling in weefsels is een zeer gecompliceerde zaak waarin op atomaire schaal zich een aantal processen afspelen nl. fotoelektriciteit, verstrooiing met gelijkblijvende golflengte (Rayleigh verstrooiing) en verstrooiing gepaard gaande met vrijkomende elektronen en uitzending van een langere golflengte (Compton verstrooiing). Niet onvermeld mag in dit

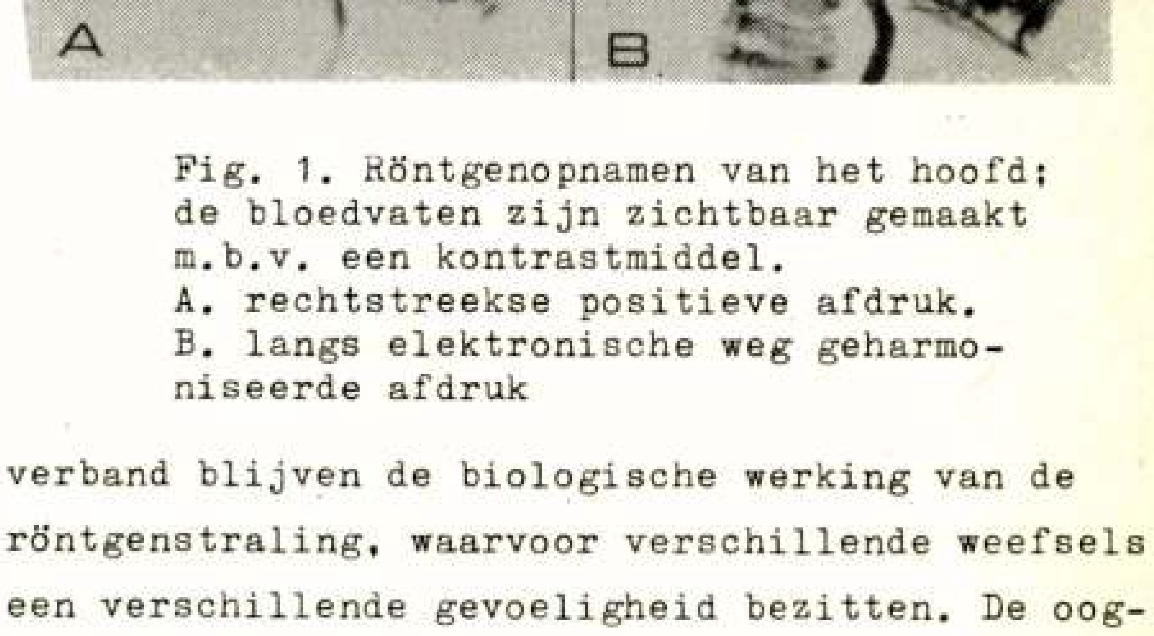


Fig. 1. Röntgenopnamen van het hoofd; de bloedvaten zijn zichtbaar gemaakt m.b.v. een kontrastmiddel.
A. rechtstreekse positieve afdruk.
B. langs elektronische weg geharmoniseerde afdruk

verband blijven de biologische werking van de röntgenstraling, waarvoor verschillende weefsels een verschillende gevoeligheid bezitten. De ooglens behoort tot de zeer gevoelige weefsels. Wat een belangrijk aspekt is bij alle röntgenonderzoek van het hoofd. De biologische werking moet steeds aanleiding zijn de informatie ten koste van een zo gering mogelijk stralenbelasting te ver-

krijgen; verder zal ieder in de omgeving zich tegen verstrooide straling moeten beveiligen.

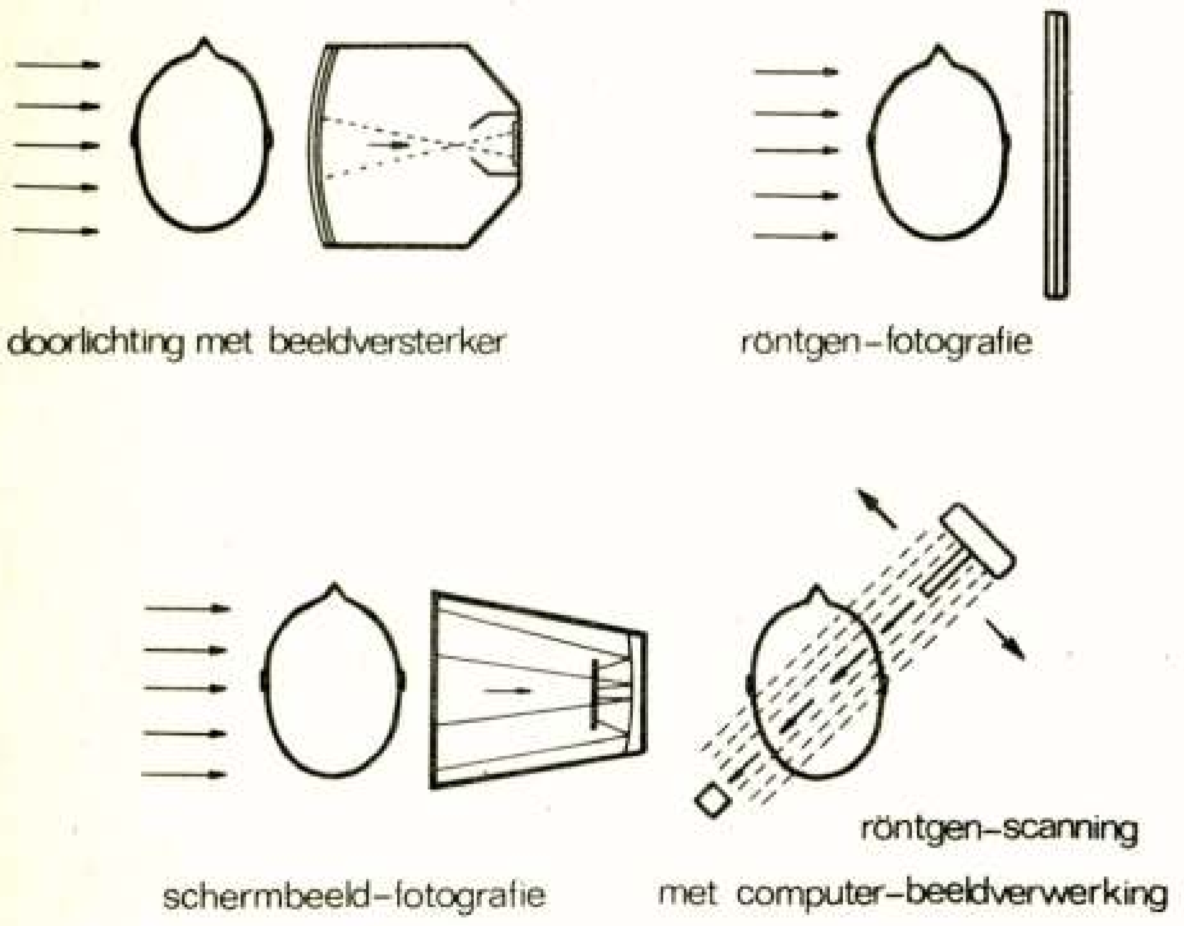


Fig. 2. Verschillende methoden van beeldvorming met röntgenstraling.

Verschillende afbeeldingsmethoden gebaseerd op röntgenstraling zijn schematisch samengebracht in fig. 2. Gaat het om onmiddellijke waarneming dan maakt de arts gebruik van röntgen-doorlichting, meestal via een beeldversterker al of niet voorzien van een televisie-kamera. Bij het vervaardigen van fotografische opnamen heeft men keus uit opnamen op groot formaat (vervaardigd met filmmateriaal tussen zgn. versterkingsschermen) of klein formaat(schermbeeld). De eerste methode geeft het mooiste resultaat, maar is vrij kostbaar omdat het om een grote hoeveelheid filmmateriaal gaat dat aan beide zijden van een emulsie is voorzien. Bij alle hier genoemde methoden krijgt men steeds een zgn. superpositiebeeld, waarbij de weefsels die dicht bij het beeldvormend systeem gelegen zijn geometrisch minder worden vergroot dan verder afgelegen weefsels. Opnamen van de schedel leveren informatie over de botstrukturen; bij het hersenonderzoek kan zo nodig het kontrast worden vergroot door zuurstof te brengen in hersenholten (pneumografie) of door een kontrastmiddel, dat zware atomen moet bevatten en de straling voldoende verzwakt, maar verder geen nadelige bijwerkingen mag hebben, in de bloedvaten te brengen (angiografie).

Beeldbewerking b.v. harmonisatie of subtractie kan de informatie beter toegankelijk maken. Bij het harmoniseren van een röntgenfoto worden langs elektronische weg correcties aangebracht in verband met de niet-lineariteit van het fotografische procédé. Voor subtractie, zowel langs fotografische als langs videotechnische weg uitvoerbaar, zijn een tweetal opnamen vereist. Wil men b.v. het patroon van de bloedvaten in het hoofd nauwkeurig bestuderen zonder gehinderd te worden door andere strukturen in het superpositie-beeld, dan kan dit worden bereikt door van een afbeelding met opgespoten vaten een tweede opname, waarin de vaten niet opgespoten zijn, "af te trekken". Pionierswerk op het gebied van video-kleuren-subtractie is in ons land verricht door dr.W.J.Oosterkamp. De droge röntgenologische procédé's (xerografie) bevinden zich nu nog in een stadium van ontwikkeling; in verband met de slinkende zilvervoorraden zouden deze methoden nog wel eens onmisbaar kunnen blijken.

Bij de tot nu toe besproken technieken wordt geen optimaal gebruik gemaakt van de informatie die aan de ingewikkelde anatomische strukturen van het hoofd ontleend zou kunnen worden. Enerzijds gaat veel beeldinformatie verloren door de superpositie, anderzijds treden er grote verliezen op door de bizonder verstrooiing van de röntgenstraling in de weefsels. Deze bezwaren worden sinds kort overwonnen door gebruik te maken van zeer smalle stralenbundels die als het ware één schijf in het hersengebied aftasten. De uittredende informatie treft een detector, die synchroon met de stralenbron meebeweegt. De uit deze metingen verkregen informatie wordt digitaal verwerkt en magnetisch vastgelegd. In de vorm van een plot of een beeld op een oscillograaf is na korte tijd de ruimtelijke verdeling van de verzwakking in de verschillende weefselcompartmenten beschikbaar. Op verschillende plaatsen wordt aan de ontwikkeling van deze röntgenscantechnieken intensief gewerkt. EMI-Ltd. heeft op



Fig.3. Opname-eenheid van de EMI-röntgenscanner met computer bewerking van de beeldinformatie.

dit punt een wereldprimeur. In geavanceerde hersencentra treft men nu sinds kort deze apparatuur, waarbij gedurende elke lineaire scan bestaat uit

160 metingen. Daarna draait de hele meetkop één graad. De informatie, die de matrix vult wordt verkregen uit 180 x 160 = 28800 metingen en is na enkele minuten voor klinische beoordeling beschikbaar. Een revolutionaire stap in de neurologische radiologie met grote winst in tijd en aanzienlijk minder risico's voor de patient.

BEELDVORMING MET GAMMASTRALING

Hoewel gammastraling fysisch beschouwd veel overeenkomstig heeft met röntgenstraling, is de toepassing bij de beeldvorming geheel verschillend. De radioaktieve stof bevindt zich in het lichaam van de patient, dit in tegenstelling tot de röntgen-stralenbron, die buiten het lichaam wordt opgesteld meestal zelfs met de mogelijkheid de afstand tot het beeldvormende systeem te veranderen. Bij gebruik van gammastraling zijn er twee beeldvormende methoden in gebruik. In de eerste plaats is het mogelijk een daartoe geschikte meetkop boven het te onderzoeken gebied mechanisch te bewegen, waarbij de uitkomst van de meting in een plat vlak wordt weergegeven. Deze methode wordt nader aangeduid met het woord scanning. De meetkop bestaat uit een scintillatiekristal met een fotomultiplicatorbuis; het geheel bevindt zich in een zgn. collimator, die in principe bedoeld is slechts straling uit het op dat moment onderzochte gebied door te laten en alle storende straling van elders te verhinderen het kristal te treffen. Tot deze

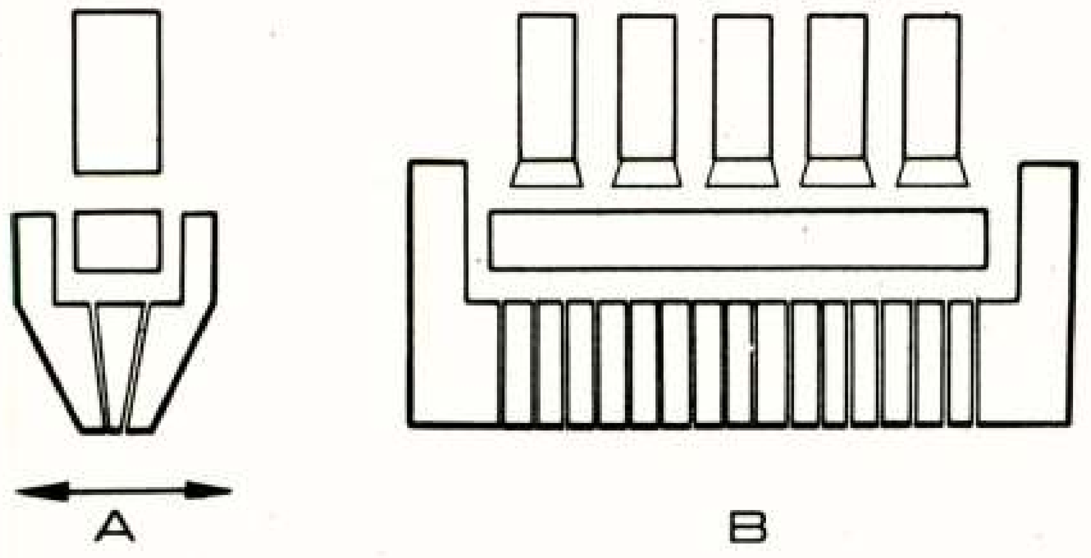


Fig.4. Meting van gammastralingen
A. Meetkop scintillatie-scanner.
B. Meetkop gamma-kamera.

oplossing is men wel gedwongen omdat gammastraling zich rechtlijnig voortplant en niet op andere wijze (men zou kunnen denken aan lenzen of spiegels) te beïnvloeden is. Een duidelijk nadeel van deze zgn. scintiscanners is de lange tijd, die vereist is voor de opbouw van één enkel beeld. Een meer recente ontwikkeling is de gamma-kamera, waarvan de meetkop schematisch in Fig.4 gegeven is terwijl Fig.5 de volledige apparatuur toont. Bij de gamma-kamera volgens het principe van Anger gaat men uit van een zeer groot scintillatiekristal (ong. 30 cm in diameter) dat zich uiteraard ook binnen een collimator bevindt en waarop enkele tientallen fotomultiplicatoren gericht zijn. Een

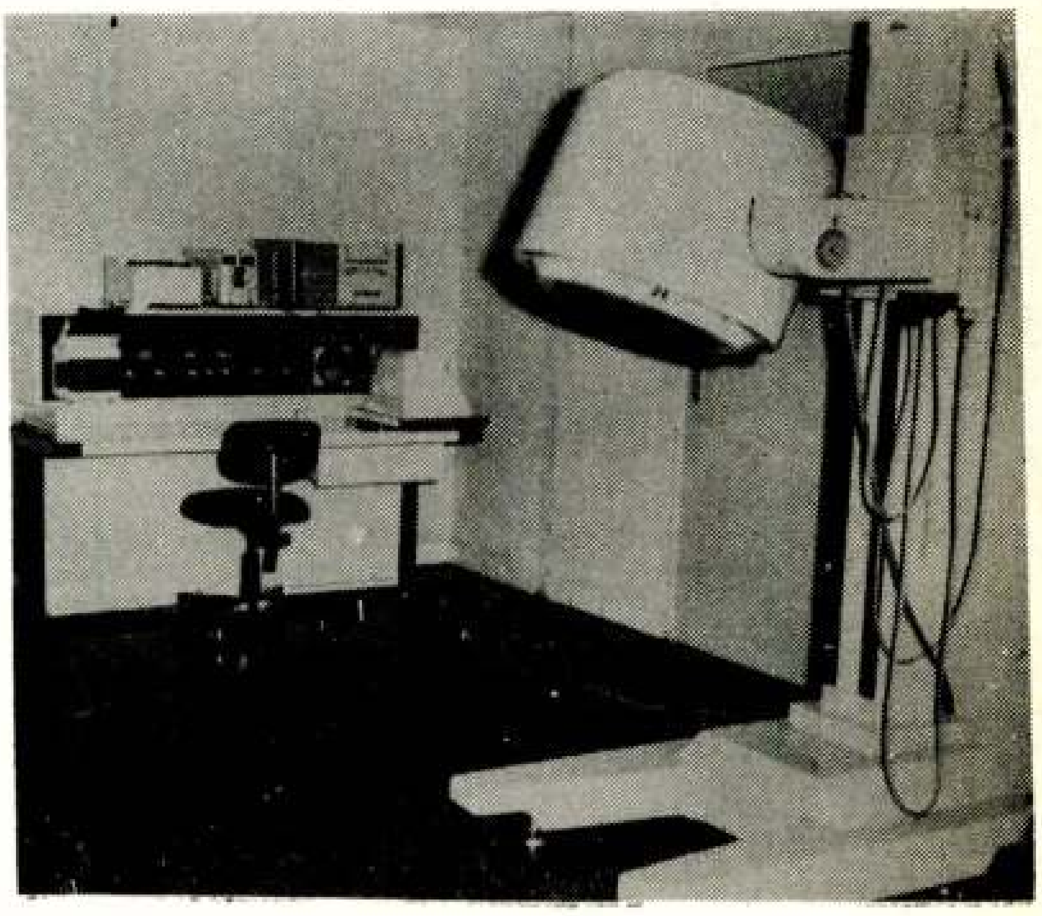


Fig.5. Gamma-kamera(Toshiba);
rechts meetkop met collimator,
links meet- en registratieapparatuur.

binnenkomende stralenquant zal in het kristal aanleiding zijn tot het ontstaan van een lichtflits, die door alle fotomultiplicatoren wordt ontvangen zij het niet overal met dezelfde intensiteit. De dichtstbijzijnde fotocel zal immers het meeste licht ontvangen. De apparatuur is in staat deze binnenkomende informatie onder te brengen in een X-Y-Z-matrix, waarvan de eerste twee waarden de lokalisatie aangeven van de oorspronkelijke lichtflits en de derde een maat is voor de intensiteit. De op deze wijze beschikbare informatie kan in een beeld worden vastgelegd of eventueel nog verder met een computer worden bewerkt. Het is hier niet de plaats om uitgebreid in te gaan op de vraag wanneer er nu aanleiding is bij patienten een onderzoek van het hoofd met behulp van gammastraling te doen. In het algemeen kan men zeggen dat scintigrafisch onderzoek heel vaak wordt uitgevoerd als screening voordat mogelijk veel ingrijpender onderzoek (b.v. röntgenonderzoek met kontrastmiddelen) wordt verricht. Een bepaalde ziektetoestand van de hersenen zal vaak aanleiding zijn tot een verhoogde opname van stoffen uit de bloedbaan in het hersenweefsel, dat in het gezonde geval juist tegen een dergelijke opname als door een barrière beveiligd is. Vaak zal de radio-aktieve stof chemisch gebonden worden aan een andere stof, die zonder schade kan worden toegediend (b.v. een eiwit). Verder wordt uiteraard vereist dat de toegediende radioaktieve stof buiten het hoofd goed te detecteren is, fysisch gesproken snel vervalt en biologisch niet lang werkzaam zal blijven.

Voor hersenonderzoek zijn en worden gebruikt radioaktieve isotopen van o.a. kwik, gallium, jodium; zeer gunstige eigenschappen heeft het sinds enkele jaren gebruikte technetium.

THERMOGRAFISCHE BEELDVORMING

Bij deze techniek wordt uitgegaan van de warmtestraling, die door het lichaam zelf wordt uitgezonden. Deze straling ligt in het nabije infrarood.

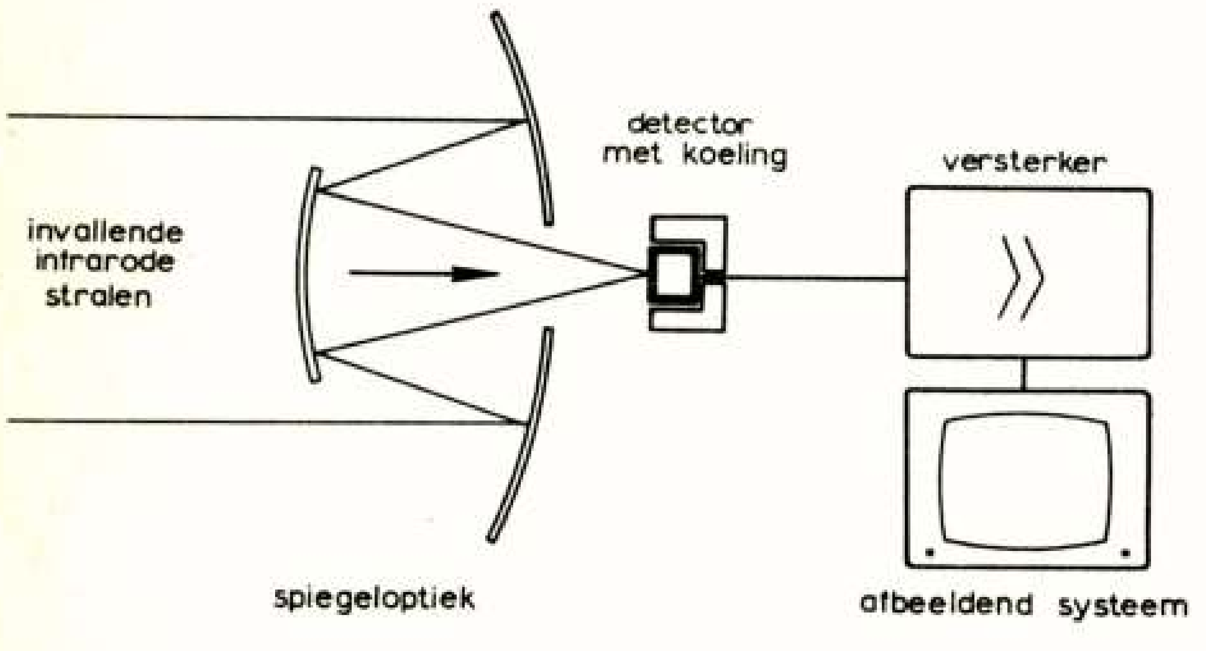


Fig.6. Schema thermografische beeldvorming.

De uitgezonden straling hangt samen met de emissiecoëfficient van de huid en met de vierde macht van de absolute temperatuur. Uit de verschuivingswet van Wien is eenvoudig te berekenen dat het maximum in het door de mens uitgestraalde spektrum ligt bij ong. 9 micron. In dit gebied is foto-emissie voor de beeldvorming niet bruikbaar en omdat ook fotografische materialen hier niet gevoelig zijn, is men aangewezen op detectie met behulp van halfgeleider detectoren (meestal indium-antimonide gekoeld in vloeibare stikstof). De straling bereikt de detector via een mechanische scanning en een spiegeloptiek. Medisch is het belang van deze methode voor hersenonderzoek nogal beperkt, omdat alleen informatie wordt verkregen over door het hoofdoppervlak uitgezonden warmtestraling, die uiteraard met de doorbloeding samenhangt.

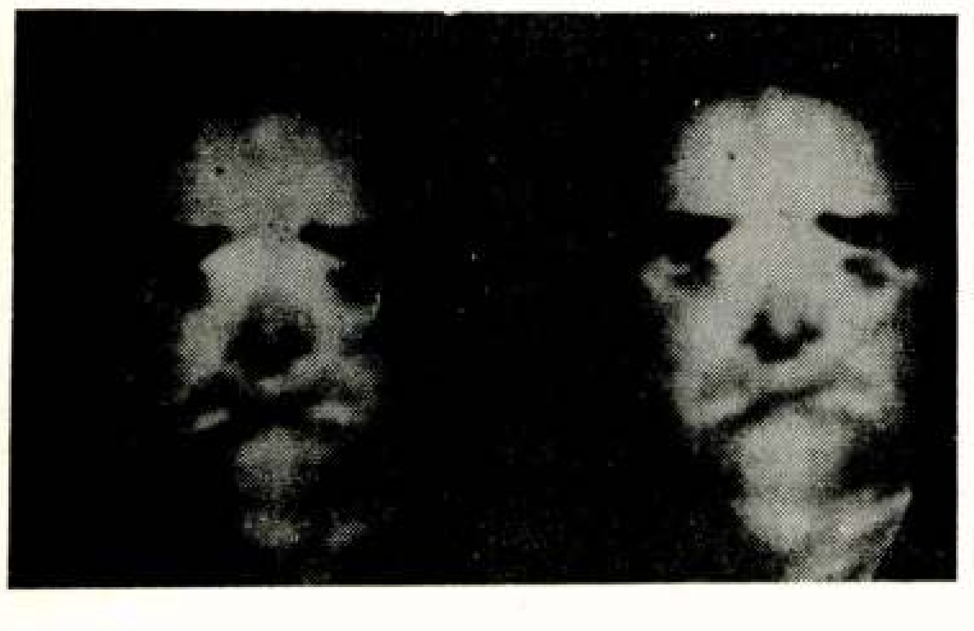


Fig.7.Thermografische opnamen van het gelaat. Links, normaal beeld, opgenomen in het donker; Rechts, na injectie van een vaatverwijdende stof.

BEELDKWALITEIT

Bij elk optisch-elektronisch systeem, en vooral ook bij de vergelijking van deze systemen, doet zich de vraag voor naar objektieve maatstaven voor de beeldkwaliteit. Het is bij elk systeem belangrijk niet alleen de gevoeligheid te kennen, maar ook de overdrachtseigenschappen. Meer en meer komt er op dit gebied een universele aanpak gebaseerd op de modulatieoverdrachtsfunktie van ruimtefrekwenties, die aan de hand van beeldtests of door berekening uit de spreidingsfunktie te bepalen is.

LITERATUUR

Gibson A.J., W.M.Smoak (1971), Central nervous system investigation with radionuclides, C.Thomas Illinois.

Meredith, W.J., J.B.Massey (1973), Fundamental Physics of Radiology, Uitg.Wright, Bristol.

Oosterkamp, W.J. e.a.(1969), Different methods of X-ray colour television, Medica Mundi 14, 160-167.

Voordracht gehouden op 23 januari 1975 in het Academisch Ziekenhuis Leiden, op een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 243) en de Benelux Section IEEE.

DYNAMISCHE AFBEELDING MET ULTRAGELUID

Ir. J.C. Somer
Medisch-Fysisch Instituut TNO

The Electroscan is a diagnostic ultrasonic instrument capable of generating instantaneous and continuous images corresponding to cross-sections of parts of the body by using a stationary probe.
The method is based upon a so called phased array-transducer. This is a transducer consisting of a large number of very small elements, each half a wavelength wide, which can be steered individually.
Beamsteering is accomplished by exciting the elements sequentially with proper time intervals.
When using equal time intervals between firing the elements, the corresponding wavefronts of the elements form a resulting flat wavefront, according to Huygens' principle. This flat wave front makes an angle with the normal depending on the time intervals itself. Ultimately these time intervals are controlled by a control voltage.
Receiving of the echoes takes place in the reversed way, whereby the differences in arrival time of a wave front impinging obliquely are compensated for by a set of electrically variable delay lines.
Both transmission, reception and display are controlled by the same control voltage which makes the system very flexible.
As a result pulses can be transmitted in every direction within a sector of 90 degrees. Scanning is performed very rapidly, e.g. 30 scans per second when 32 different directions are used.
The second prototype has proved to be capable of visualizing most of all space occupying objects including braintumours, hydrocephalus and haematomas and pulsations of all large intracranial arteries.

INLEIDING

Het idee om electronische sector scanning met ultrageluid toe te passen voor medisch diagnostische doeleinden kwam voort uit het feit dat er oorspronkelijk geen klinisch bruikbaar twee-dimensionaal scanning-systeem bestond dat geschikt was voor het onderzoek van de hersenen.
Voor zachte weefsels, zoals de buik, vormde het (langzame) mechanische B- of Compound-scansysteem een welkom en bruikbaar middel ten behoeve van bijvoorbeeld de gynaecologie en de verloskunde.
Voor het hersenonderzoek echter bleken deze mechanische scanning-methoden alleen geschikt te zijn voor zeer jonge kinderen en zelfs dan in beperkte mate. Het is duidelijk dat de schedel een ernstig obstakel vormt voor ultrageluidsgolven, hetgeen verklaart dat oorspronkelijk slechts de ééndimensionale A-scan-methode een relatief groot succes oogstte in de hersendiagnostiek. De reden hiervan ligt in het feit dat door de hoge pulsherhalingsfrequentie momentane en continue beelden kunnen worden verkregen ("real time" presentatie). Hierdoor is het mogelijk alle effecten direct op het scherm waar te nemen, die het gevolg zijn van veranderingen in de stand van de taster(zender-ontvanger) die tegen het hoofd is geplaatst. Er vindt dus directe visuele terugkoppeling plaats en is het mogelijk om door te manipuleren een zo goed mogelijke positie van de taster te vinden, voor een zo goed mogelijk interpreteerbaar beeld.
De combinatie van ervaring met veel normale èn pathologische gevallen enerzijds en de patroonherkennings-capaciteiten van de mens anderzijds, maakt dat zelfs een qua mogelijkheden sterk begrensde methode als de A-scan een bruikbaar hulpmiddel is, mits het een hoge beeldherhalingsfrequentie bezit.
Deze beschouwingen hebben geleid tot de ontwikkeling van een elektronisch sector scanning systeem, wat de voordelen van een twee-dimensionale presentatie combineert met de voordelen van een hoge beeldherhalings -frequentie: de Electroscan.
Hiermee is het mogelijk gebleken momentane en continue tweedimensionale afbeeldingen ("real time") te verkrijgen, overeenkomend met doorsneden door het betreffende lichaamsdeel, terwijl de taster in principe stil staat. Het zoeken naar een optimaal herkenbaar respektievelijk interpreteerbaar beeld is nu mogelijk door kleine variaties in de stand van de taster uit te voeren en gelijktijdig het scherm te observeren. De beeldherhalingsfrequentie is voor een sector van 90° en 32 beeldlijnen ongeveer 30 beelden per sekonde.
In dit artikel is alleen de toepassing voor de hersendiagnostiek beschreven, hoewel het systeem potentieel bij uitstek geschikt is voor hartonderzoek en gynaecologie en obstetrisch onderzoek.

PRINCIPE ELECTROSCAN

Het principe van de Electroscan is reeds uitvoerig in andere publikaties beschreven (Somer 1968a, 1968b, 1969, 1971, 1973, 1974). Daarom zal hier worden volstaan met een korte uiteenzetting.

De transducent

De Electroscan is gebaseerd op de toepassing van een zogenaamde lineaire array-tranducent welke bestaat uit 21 elementen, elk bijna een halve golflengte breed. Voor de gebruikte centerfrequentie 1,3 MHz is λ=1,15mm. De lengte van het stralend oppervlak is dan ook 11 mm, terwijl de breedte wordt bepaald door de lengte van de elementen in de dwarsrichting, welke ook 11 mm is. Hierdoor is de bundelbreedte uniform, zowel in het vlak van scanning als in het vlak loodrecht daarop.
Figuur 1 laat een complete taster zien, waarvan het vierkante stralend oppervlak aan het linker uiteinde duidelijk zichtbaar is.

De zender

Figuur 2 toont een blokschema van het totale zend-, ontvang- en afbeeldingssysteem. Dit geeft de schakeling weer welke in het eerste prototype Electroscan I werd toegepast. Het tweede prototype, Electroscan II, wijkt hiervan in zoverre af, dat daar niet de uiterste array-elementen als "draaipunten" voor resp. zend- en ontvangbundels kunnen worden beschouwd zoals in figuur 2, maar het middelste element draaipunt is voor zowel zend- als ontvangbundel. Het laatste vereist dan wel twee exact in tegenfase variërende hoofdstuurspanningen, maar bespaart véél aan kostbare vertragingsschakelingen.
Zoals in figuur 2 is aangegeven zijn alle elementen respectievelijk met een aparte zender en een ontvangkanaal verbonden. Voor elke uit te zenden korte impuls, bestaande uit zo weinig mogelijk perioden, wordt een triggerimpuls van de "main oscillator" aan alle electrisch variabele impulsvertragingscircuits toegevoerd. Het uitgangssignaal van elk van deze circuits is opnieuw een scherpe impuls met een vertraging t.o.v. de triggerimpuls welke lineair afhankelijk is van de betreffende stuurspanning (control voltage).
De vertraagde impuls triggert de betreffende lokale oscillator welke dan het daarmee verbonden element exciteert.

Indien de hoofdstuurspanning (main control voltage) wordt gevarieerd, variëren de individuele stuurspanningen evenredig mee en daarmee de vertragingen van de excitaties van de elementen. Indien de spanningsdelers waarmee de stuurspanningen worden ingesteld zodanig zijn afgeregeld dat voor een bepaalde hoofdstuurspanning de vertragingsverschillen voor de opeenvolgende elementen gelijk zijn, dan blijven die ook onderling gelijk bij variatie van de hoofdstuurspanning, maar veranderen wél in grootte.

De overeenkomstige, door de elementen uitgezonden praktisch cirkelvormige golffronten, zullen dus altijd aan een rechte lijn raken, waardoor een gerichte bundel wordt opgebouwd volgens het principe van Huygens.

De richting van deze bundel echter is afhankelijk van de tijdsintervallen tussen de excitaties van de elementen, dus van de hoofdregelspanning.
Op deze wijze is dus op elegante wijze gerealiseerd dat de bundelrichting slechts met een enkele spanning naar believen kan worden gevarieerd over een sector symmetrisch t.o.v. de normaal.
Uit figuur 2 valt op te maken dat element Nr. 21 een vaste vertraging heeft en het draaipunt voor de zendbundel vormt, omdat alle andere vertragingen zowel korter als langer kunnen zijn.

De ontvanger

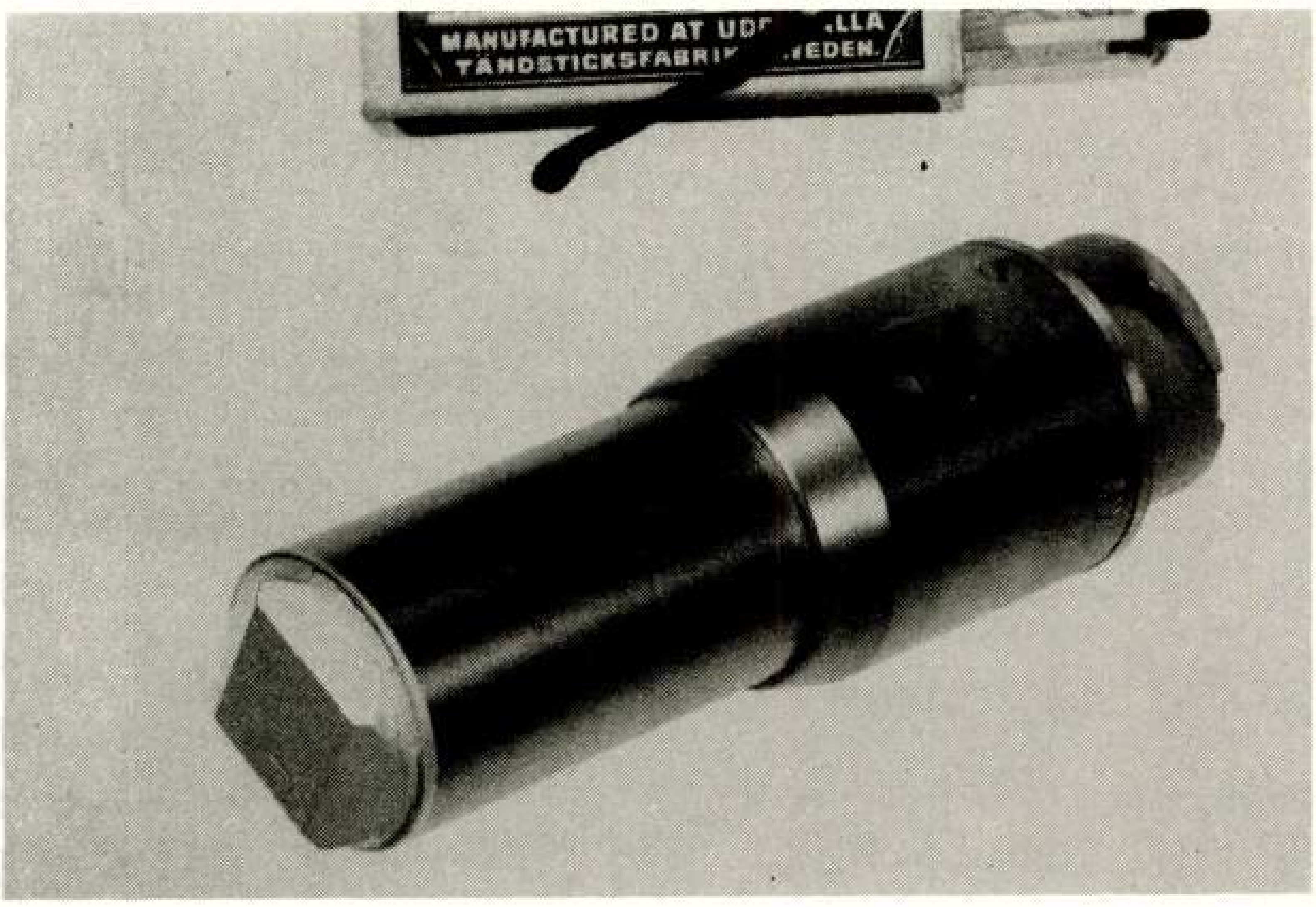
Voor de ontvangst van de echo's worden dezelfde elementen gebruikt die onmiddellijk na uitzending van een zendimpuls door middel van de zend-ontvangschakelaars met de ontvangkanalen worden verbonden. De voorversterkers, die dienen om de zeer zwakke echo-signalen voldoende te versterken alvorens in het vertragingslijnen systeem verder verwerkt te worden, zijn in figuur 2 weggelaten. Deze voorversterkers hebben bovendien de functie om met een naar believen instelbare tijdsafhankelijke versterking de dynamiek van de ontvangstsignalen zoveel mogelijk te beperken, vanwege de beperkte signaalruisverhouding van het vertragingslijnenstelsel.

Dit vertragingslijnensysteem is een combinatie van vaste en variabele segmenten. Dit is gedaan om twee redenen:

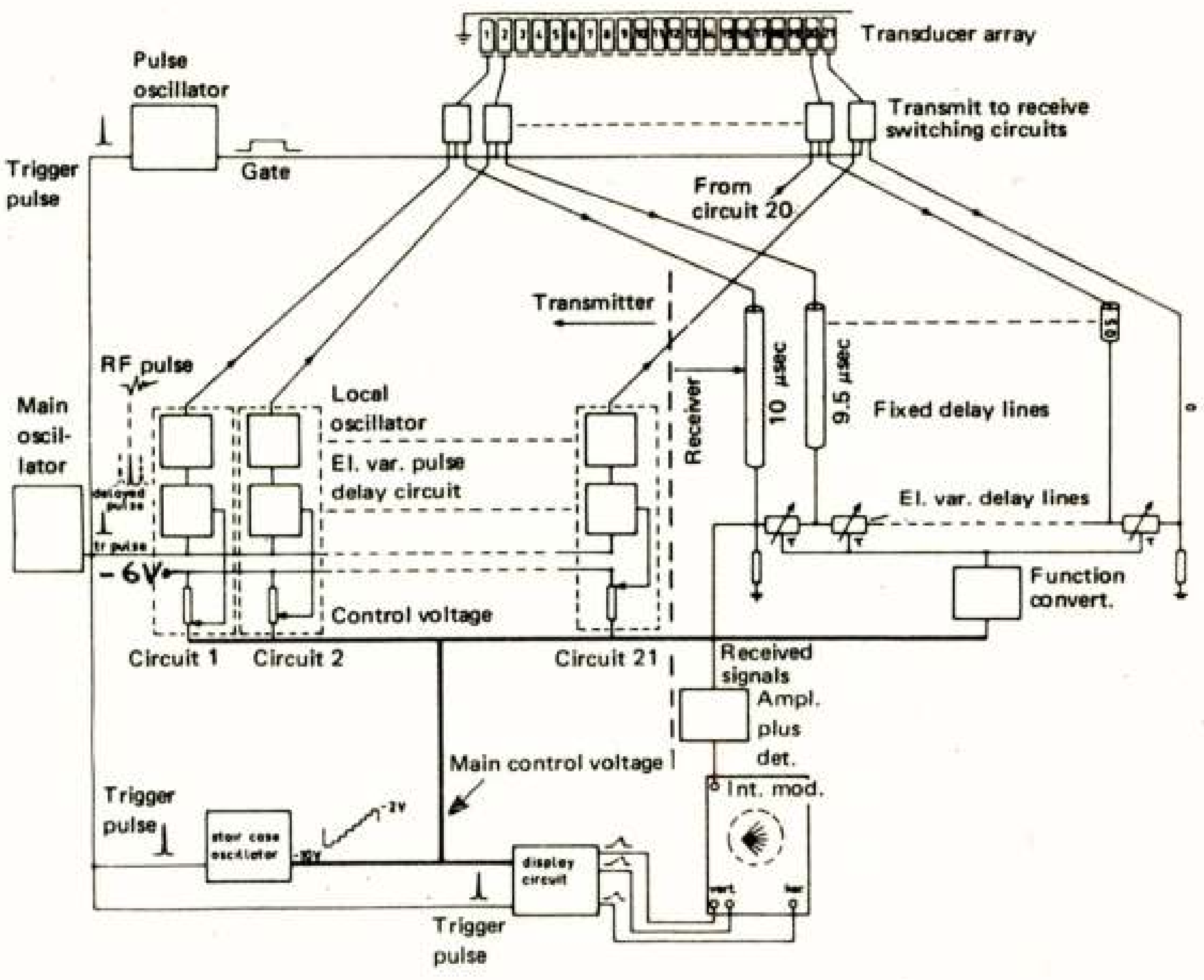
a) elektrisch variabele vertragingstijd is duur
b) een vaste "offset" is vereist om zowel positieve als negatieve hoeken tov de normaal te kunnen bestrijken.

Met het gekozen parallel-serie systeem is bovendien het voordeel verkregen dat alle variabele secties gelijk kunnen zijn en door dezelfde stuurspanning kunnen worden gestuurd.
Uit figuur 2 zal duidelijk zijn dat met de aangegeven waarden voor de vaste vertragingslijnen(kabels Hacketal HH 1600) de variabele secties elk een vertraging van τ = 0,5 µsec moeten hebben om uit een richting volgens de normaal te kunnen ontvangen, daar dan de totale vertragingstijden voor alle kanalen gelijk zijn, dus een parallel invallend golffront compenseren.

Voor positieve ontvangrichtingen (1e kwadrant) moet τ > 0,5 µsec zijn en voor negatieve invalshoeken(4e kwadrant) is τ < 0.5 µsec vereist.



Figuur 1. Komplete zend-ontvang taster bevattende
array, dempingslichaam en de connector.



Figuur 2. Blokschema van het electronisch sector-scan
systeem met ultrageluid : Electroscan.

In de Electroscan I zijn voor deze electrisch variabale vertragingssecties zogenaamde m-afgeleide circuits toegepast, waarbij de capaciteiten electrisch werden gevarieerd door capaciteitsdioden toe te passen.

De enorme moeilijkheden die dit heeft opgeleverd zal men zich kunnen voorstellen. Daarom is in de Electroscan II een door ons zelf ontwikkeld en gebouwd "sample-and-hold" systeem toegepast, gestuurd met klokfrequenties tussen 6 en 20 MHz (Doornbos 1972)

In beide gevallen brengt de array-configuratie met zich mee, dat elke sectie van 0,25 tot 0,75 μsec moet variëren om een ontvangst sektor van 90° te kunnen bestrijken. Uit figuur 2 valt verder af te lezen dat hier element nr. 1 een vaste vertraging heeft, waar alle andere

omheen variëren, zodat dit het draaipunt is voor de ontvangbundel. Het resulterend draaipunt voor zenden en ontvangen samen ligt dus in het midden van de array.

Afbeelding

Daar we met relatief breedbandige signalen te maken hebben, moet het woord "fase" eigenlijk vermeden worden. Vandaar dat tot nu toe consequent over tijdsvertraging en tijdsintervallen is gesproken.

Voor het gemak echter zeggen wij dat bij elke τ één bepaalde richting behoort, waarbij de signalen precies "in fase" worden opgeteld en dus is dit de hoek van maximale gevoeligheid bij deze τ. Uiteraard is het een eis dat te allen tijde de hoek van uitzenden gelijk is aan de hoek van ontvangst. Dit wordt bereikt door één en dezelfde hoofdstuurspanning voor beide funkties te gebruiken.
Er is echter nog een derde functie, namelijk ervoor te zorgen dat ook de hoek van afbeelding op het oscilloscoop-scherm te allen tijde overeenkomt met die van zenden en ontvangen. Ook moet de snelheid van de stip over het scherm voor alle richtingen dezelfde zijn en constant, om de echo's in posities af te beelden welke zo nauwkeurig mogelijk overeenkomen met die van de reflecterende structuren.
Hiertoe worden beide afbuigspanningen van de oscilloscoop elk op zeer bepaalde wijze afgeleid van de hoofdstuurspanning.
Uiteraard vindt de afbeelding plaats in de B-mode, d.w.z. met intensiteitsmodulatie. Het door het vertragingssysteem geleverde hoogfrequente signaal wordt na verdere versterking gedetecteerd om de omhullende te verkrijgen (video-signaal), dat uiteindelijk aan de intensiteitsmodulatie ingang van de oscilloscoop wordt toegevoerd.
Voor de aard van de verkregen afbeeldingen wordt verwezen naar de hierna te bespreken klinische resultaten.
Hieruit kan men zich ook een indruk vormen van de discrepantie tussen lateraal en radiaal oplossend vermogen. Het zal duidelijk zijn dat het eerste het dringendst verbetering behoeft, terwijl dit juist het moeilijkst te realiseren is. De hoogst bruikbare ultrageluidsfrequentie wordt n.l. bepaald door de absorptie in de weefsels en die is voor schedelbot zeer hoog en neemt bovendien zeer snel met de frequentie toe. Vandaar dat de gebruikte 1,3 MHz niet zonder grote nadelen kan worden verhoogd. Een transducent-grootte van 10 λ's is een redelijk compromis tussen de initiële bundelbreedte en de divergentie ervan voor de hier te bestrijken afstanden. Een verkleining zou het lateraal oplossend vermogen voor dichtbij verbeteren, maar voor veraf aanzienlijk verslechteren.

Een verdere verbetering van de beeldkwaliteit voorzover het het oplossend vermogen en de signaal-ruis-verhouding betreft zal dan ook gezocht moeten worden in signaalverwerkingsmethoden, gebruik makende van a priori informatie omtrent het uitgezonden signaal

Flexibiliteit

Het gebruik van slechts een enkele spanning om de richtingssturing te bewerkstelligen, maakt het gehele systeem uitermate flexibel (Somer 1973, 1974).
Daardoor is het met groot gemak mogelijk allerlei variaties in de afbeelding te verkrijgen die voor één of ander doel wenselijk zijn.
Het basisprincipe is dat met een trapspanning die steeds na zenden en ontvangen in een bepaalde richting een stap verspringt voor de volgende richting, automatisch en periodiek een sector wordt afgetast. Wanneer de impulsherhalingsfrequentie 1000 Hz bedraagt, kan een sector met 32 lijnen ongeveer 30 maal per sekonde worden afgetast.
Daarnaast kan de grootte van de scan-sector worden veranderd, het aantal per sector gebruikte lijnen kan gevarieerd worden, een verkleinde sector kan geroteerd worden en men kan als men wil de richting manueel variëren of stil zetten voor een A-scan.

Ook de combinatie A- en B-scan is zelfs te realiseren. Met deze opsomming is het aantal mogelijkheden zeker niet uitgeput. Het zal geheel van de wensen van de gebruikers-klinici afhangen welke mogelijkheden nog verder aan het systeem zullen worden toegevoegd.

KLINISCHE RESULTATEN

Inleiding

Het eerste prototype, de Electroscan I, is ondanks de beperkte mogelijkheden toch vanaf 1970 voor de hersendiagnostiek in gebruik geweest (Kamphuisen 1972, 1974 ; Somer 1972a, 1972b).

Het tweede prototype, de Electroscan II, is sterk verbeterd, hoewel zeker nog lang niet aan de grenzen van zijn mogelijkheden (Freund 1973, 1974; Kamphuisen 1974).

Hoewel alleen door middel van een film het werkelijke karakter van de afbeeldingen kan worden weergegeven, zoals tijdens de over dit onderwerp gehouden voordracht is geschied, zal toch getracht worden enig idee omtrent de verschijningsvorm van de beelden te verschaffen.

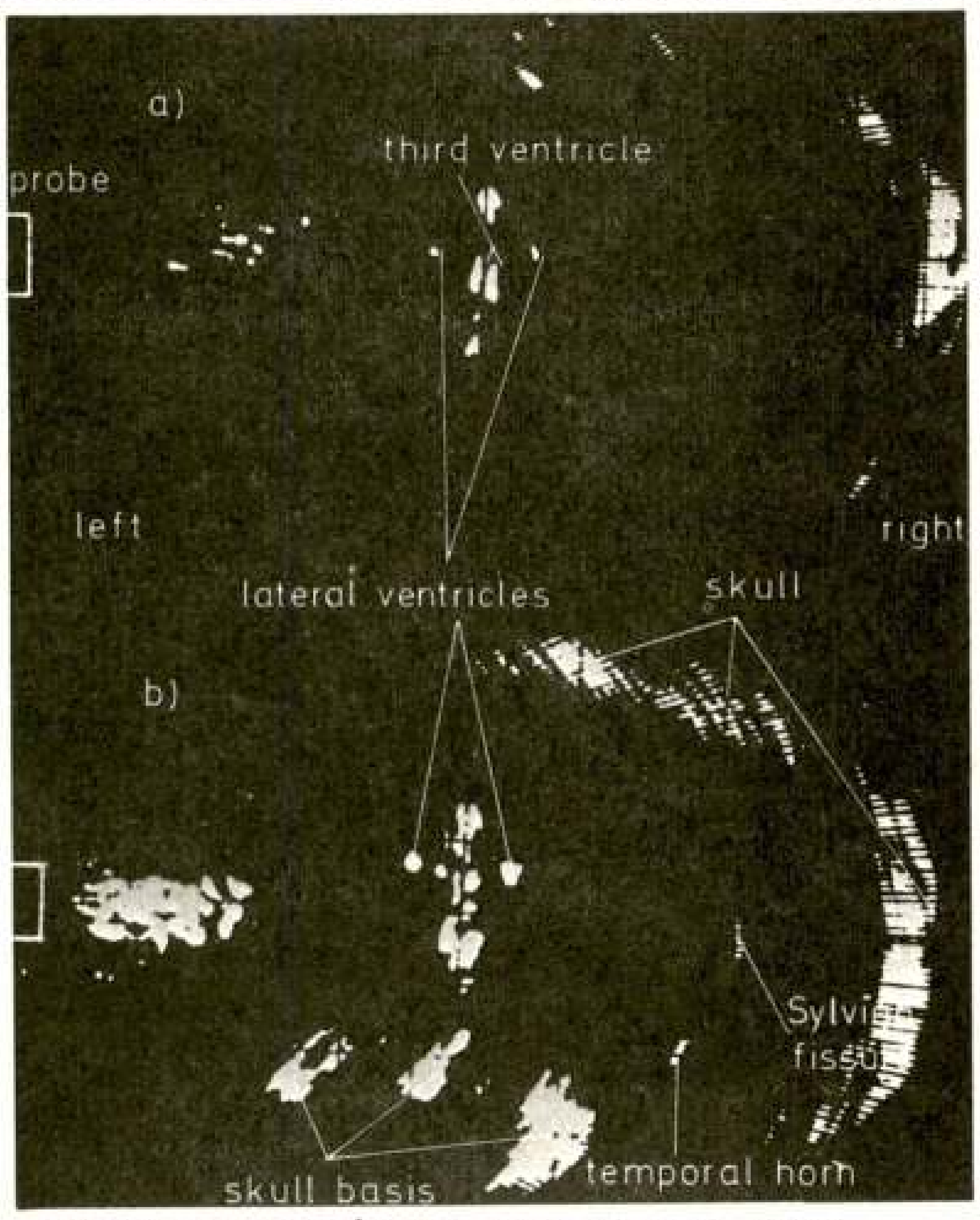
Pulsaties

Het klinisch belangrijkste aspect van de Electroscan, het direct bestuderen van bewegingen, zoals pulsaties van bloedvaten, kan hier dus niet gedemonstreerd worden, doch het feit dat het aantal lijders aan aandoeningen van de hersenvaten groot is, vergeleken met ruimte-innemende processen zoals bijvoorbeeld tumoren, illustreert reeds

voldoende dat elk diagnostisch hulpmiddel voor het opsporen van vaatvernauwingen en - afsluitingen van de grootste betekenis is.

Normstructuren

In normale gevallen is het mogelijk een aantal structuren te indentificeren, zoals weergegeven in figuur 3.



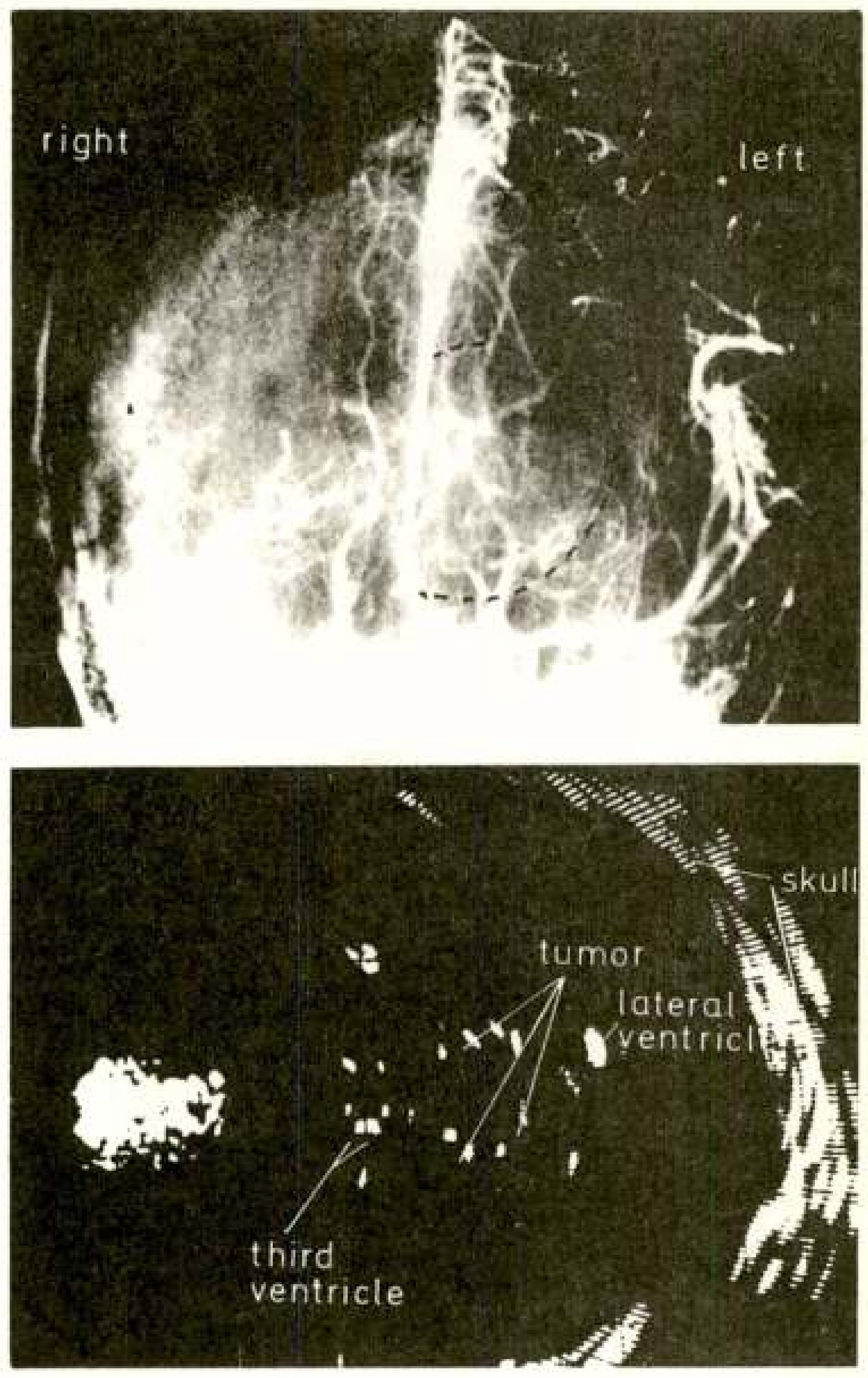
Figuur 3: Foto's van een normaal geval met de taster tegen de linkerkant van het hoofd, precies boven het oor, waarbij in een vertikaal vlak werd afgetast.
a) met lage zendintensiteit
b) met hoge zendintensiteit.

Deze structuren zijn van belang voor de lokalisatie van pathologische processen, zoals bijvoorbeeld tumoren. Zowel directe afbeelding van ruimte-innemende processen is mogelijk als wel indirecte, waarbij de aanwezigheid ervan wordt vastgesteld aan de hand van de verplaatsingen van bepaalde normstructuren.

Tumoren

Tumoren worden in de meeste gevallen direct afgebeeld en dus gelokaliseerd. De aard van de tumor is meestal moeilijker vast te stellen, behalve wanneer het een kysteuze tumor betreft, zoals in figuur 4 (onder). Omdat dit een met vocht gevulde ruimte is, verschijnt hier een ronde omtrek, waarbinnen geen echo's optreden.

In figuur 4 (boven) is een arteriogram afgebeeld, verkregen met röntgenstralen en na een contrastmiddel in de arteriën te hebben gebracht. Het zal duidelijk zijn dat deze ultrageluidsmethode aanzienlijk meer informatie geeft dan dit arteriogram.



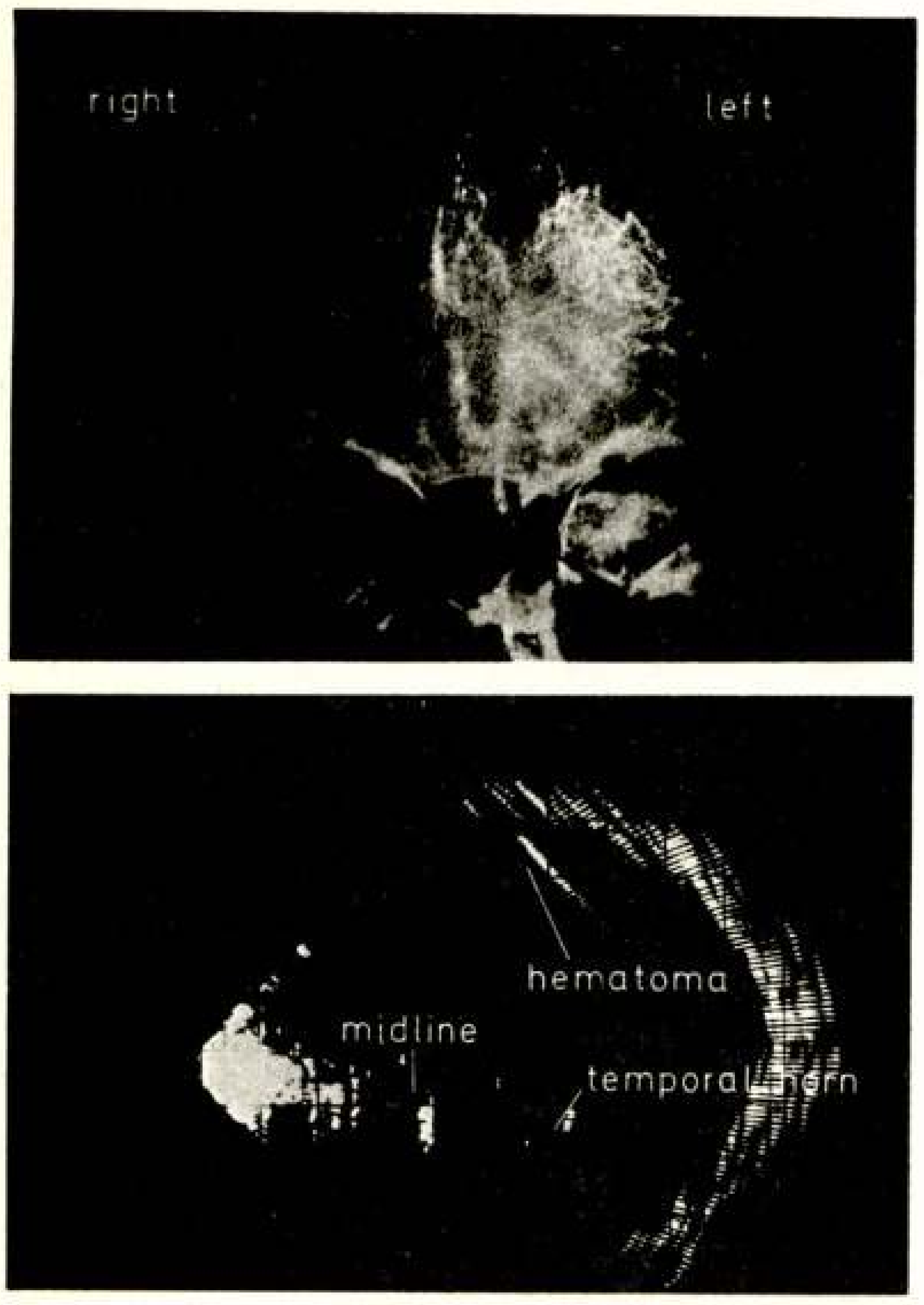
Figuur 4: Kysteuze tumor nabij de "midline" in de linker hemisfeer. De omtrek van de tumor is in het echogram (onder) duidelijker te zien dan in het arteriogram (boven). Vlak van scanning vertikaal, taster boven het oor, iets verder naar achteren dan in figuur 3.

Hydrocephalus

Verwijde ventrikelsystemen zijn gemakkelijk te meten. Vooral bij zeer jonge kinderen, waarbij een zgn. waterhoofd dreigt te ontstaan, is een methode, waarbij zonder ongemak of schadelijkheid zo vaak als wenselijk is kan worden onderzocht hoever de hersenholten zijn uitgedijd of hoe snel deze vergroting plaats vindt, uiterst belangrijk. Tijdig ingrijpen is dan mogelijk.

Haematomen

Een haematoom is een met bloed gevulde ruimte. In figuur 5 is opnieuw een vergelijking mogelijk tussen een arteriogram en een Electroscan-beeld. In de bovenste helft ziet men links (rechts op de foto) een ruimte waar zich geen bloedvaten bevinden. Dit is een subduraal haematoom, d.w.z. een met bloed gevulde ruimte, welke gelegen is onder de dura mater, één van de hersenvliezen.
Het echogram (onder) geeft een scherpere indicatie van het grensvlak tussen haematoom en hersenweefsel dan het arteriogram.



Figuur 5: Een arteriogram (boven) en een elektronische sector scan van een patiënt met een subduraal haematoom. Vlak van scanning vertikaal, vrij ver naar voren.

KONKLUSIE

De Electroscan is een systeem dat "real time" afbeeldingen van bijvoorbeeld de hersenen kan produceren. De toepassing is absoluut ongevaarlijk, geeft geen ongemak en is in elke conditie van de patiënt bruikbaar.

Behalve de opsporing van ruimte innemende processen is vooral ook de mogelijkheid pulsaties van arteriën zichtbaar te maken van groot belang voor de diagnostiek.

LITERATUURLIJST

Doornbos, P. and J.C. Somer: An electrically variable analogue delay line achieved by fast consecutively commutated capacitors.
Prog.Report No. PR3, Medisch-Fysisch Instituut TNO, 109-113 (1972)

Freund, H.J., J.C. Somer, K.H. Kendel and K. Voigt: The diagnostic application of electronic sector scanning for cerebro-vascular diseases and space occupying processes.
Neurology 23, nr. 11, 1147-1159 (1973)

Freund, H.J.: Electronic sector scanning in cerebral diagnostics; III. Visualization of intracranial structures and brain arteries.
Ultrasonics in Medicine(ed. M. de Vlieger, D.N. White, V.R. McCready), 314-317, Excerpta Medica Amsterdam (1974).

Kamphuisen, H.A.C., J.C. Somer and W.A. Oosterbaan: Two-dimensional Echo-Encephalography with Electronic Sector Scanning (clinical experiences with a new method)
J.of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry 35, Nr. 6, 912-918 (1972)

Kamphuisen, H.A.C.: Electronic sector scanning in cerebral diagnostics; II. Space occupying processes and hydrocephalus.
Ultrasonics in Medicine (ed. M. de Vlieger, D.N. White, V.R. McCready), 309-313, Excerpta Medica, Amsterdam (1974)

Somer, J.C.: Instantaneous and continuous pictures obtained by a new two-dimensional scan technique with a stationary transducer.
Procs.in Echo-Encephalography(ed. E. Kazner, W. Schiefer, K.J. Zülch), 234-238,Springer Verlag Berlin (1968a)

Somer, J.C.: Electronic sector scanning for ultrasonic diagnosis.
Ultrasonics 6, nr. 3, 153-159 (1968b)

Somer, J.C.: Toepassing van een nieuwe methode in de ultrageluidsdiagnostiek
TNO-Nieuws, 24, Nr.11, 647-653 (1969)

Somer, J.C.: Electronic sector scanning with ultrasonic beams.
Ultrasonographia Medica (ed. J. Böck, K. Ossoinig) 27-32, Verl. Wiener Mediz.Akademie (1971)

Somer, J.C., H.A.C. Kamphuisen and W.A. Oosterbaan: Some results obtained with electronic sector scanning in patients with cerebral disease.
Progr.Rep. PR3, Medisch-Fysisch Instituut TNO, 114 - 119 (1972a)

Somer, J.C., H.A.C. Kamphuisen and W.A. Oosterbaan: The ultrasonic diagnosis of intracerebral tumours by means of electronic sector scanning method: Electroscan.
TNO-Nieuws, 27, nr. 11, 704-710 (1972b)

Somer, J.C., W.A. Oosterbaan and H.J. Freund: Ultrasonic tomographic imaging of the brain with an electronic sector scanning system.
Procs. 1973 Ultrasonics Symp., 43-48, IEEE Inc. New York (1973)

Somer, J.C.: Electronic sector scanning in cerebral diagnostics; I. Principle and technical development
Ultrasonics in Medicine(Ed. M. de Vlieger, D.N. White, V.R. McCready), 304-308, Excerpta Medica Amsterdam (1974)

Voordracht gehouden op 23 januari 1975 in het Academisch Ziekenhuis Leiden, op een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 243) en de Benelux Section IEEE.

VAN DE REDACTIE

Als bijlage bij het tijdschrift wordt U toegezonden de "Second announcement" van de "First European solid state circuit conference".

Als lid van de "Convention of National Societies of Electrical Engineers of Western Europe" is het NERG hiervoor mede verantwoordelijk.

De leden worden opgewekt mede te helpen bekendheid aan deze conferentie te geven bv. door het attenderen van collega's en directies.

VARIA

De redactie ontving van Dr. J.G.A. de Graaf, secretaris van de werkgroep Fotonica het verzoek een bijgeleverd artikel te publiceren, waarin het gebied van de fotonica nader wordt beschreven. De samenvatting van dit artikel luidt: "Fotonica is een benaming van het gebied, dat die systemen omvat waarbij fotonen dienen als dragers van de informatie". De redactie acht dit artikel echter voor onze leden te uitvoerig, en verwijst daarvoor naar onderstaande publicatie in het Ned. Tijdschrift voor Natuurkunde.

Op 2, 3 en 4 april 1975 wordt op de T.H. Eindhoven een symposium over Fotonica gehouden. Voor nadere informatie wenden men zich tot ing. M. Helmig Natuurkundig Laboratorium N.V. Philips, Prof. Holstlaan Eindhoven tel. 040-742488.

Onderstaand stukje is overgenomen van de symposium-aankondiging.

Fotonica

De Nederlandse Vereniging voor Fotonica bestaat sedert 5 juni 1973. Daarvoor droeg zij de naam Nederlandse Vereniging voor Fotografie, Fotochemie en Fotofysica. Fotonica wordt beschreven als het gebied, dat die systemen omvat, waarbij - voornamelijk - fotonen als dragers van informatie optreden.
Een voorstelling van het beoogde gebied kan verkregen worden door een overzicht te geven van de elementen van een fotonisch systeem:

1. Fotonenbronnen (lichtbronnen, enz.)
2. interactie fotonen-object
3. verzamelen, transport en aanpassing
4. detectie, registratie
5. informatie-extractie
6. presentatie
7. waarneming

Uitgangspunt is de fotonenbron (1) die nodig is om de dragers van de informatie te leveren. De volgende fase wordt gevormd door de interactie (2) tussen fotonen en het te bestuderen object (ofwel doet zich de situatie voor dat het object tevens als fotonenbron fungeert).
Het verzamelen, aanpassen en transporteren (3) van de aldus verkregen informatie zijn zaken die ook tussen de elementen 1 en 2, 3 en 4, en tussen 5 en 6 een rol kunnen spelen.
Het daarop volgende stadium betreft de detectie of de registratie (4) van de verkregen informatie.
Dikwijls blijkt dat men nog verdere bewerkingen (5) moet toepassen ten behoeve van de informatie-extractie.
Soms is nog een extra fase noodzakelijk ten behoeve van de waarnemer of van derden. Dat wil zeggen dat men aandacht moet besteden aan de presentatie (6). Deze kan plaatsvinden in een analoge dan wel digitale vorm, eventueel wordt de informatie als tekst gegeven. De presentatie moet echter zo zijn dat de informatie na het passeren van het oog van de waarnemer acceptabel is voor het brein, het sluitstuk van de keten (7).

Lit. Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde 40 - blz. 37,38, 39 - 1974.

PERSONALIA

Samenvatting van de inaugurele rede van prof. dr. W. van Haeringen, buitengewoon hoogleraar aan de Afdeling der elektrotechniek, in het bijzonder in de theoretische elektriciteitsleer (quantum-theoretische grondslagen), gehouden op woensdag 9 oktober 1974 op de THD.



Een fysicus en zijn vakliteratuur.

De grote toename van de hoeveelheid fysische vakliteratuur in de laatste tientallen jaren stelt de onderzoeker voor grote problemen. Enerzijds veroorzaakt bij de problematiek zelf, door te veelvuldig en te slordig te publiceren, zich daarbij bovendien richtend tot een te enge groep specialisten. Anderzijds zijn er onvoldoende

externe factoren aanwezig om de publicatiedrift op verantwoorde wijze in te tomen.

Men zou verder komen als men bij literatuurgebruik een goed selectiecriterium had.

De Amerikaanse sociologen J.R. Cole en S. Cole suggereren dat men zich moet richten op een beperkt aantal vooraanstaande auteurs, met voorbijzien van een grote groep auteurs, die nauwelijks of nooit geciteerd worden. Een zienswijze waarin het werk van deze laatste groep enigszins twijfelachtig van karakter wordt.

Men kan velerlei aanbevelingen doen om uit de onoverzichtelijke literatuursituatie te geraken. Het karakter van deze aanbevelingen is echter steeds individueel gericht. Nodig is een meer collectieve kritische instelling ten aanzien van deze aanbevelingen. Van een concreet stuk fysisch onderzoek wordt een beschrijving achteraf gegeven, waarin diverse aspecten van literatuurgebruik hun positieve en negatieve rol speelden. Het onderstreept het sterk individuele karakter van de interactie van literatuur en onderzoeker. De daaraan klevende nadelen kunnen dan ook slechts worden geminimaliseerd, indien er voortdurend contact is met breed georiënteerde vakgenoten. Het voortdurend contact is met breed georiënteerde vakgenoten. Het behandelde voorbeeld wil duidelijk illustreren, dat hoewel de literatuurberg enorm groot is, er inderdaad veel nuttigs in te vinden in.

Daarom heeft een geïsoleerde onderzoeker minder kansen en is het pleidooi gericht op concentraties breed opgestelde fysici.

Samenvatting van de inaugurele rede van prof. ir. E. Goldbohm, buitengewoon hoogleraar in de elektronische navigatie aan de Afdeling der elektrotechniek, gehouden op woensdag 29 januari 1975 op de THD.



"Truth is the only daughter of time"

Prof. Goldbohm wijdde zijn intreerede aan de rol die de tijd speelt bij de navigatie in het algemeen en de elektronische navigatie in het bijzonder. Ofschoon de noodzaak voor een nauwkeurige tijdmeting ten behoeve van de navigatie reeds in de 13e eeuw door Gemma Frisius werd onderkend, kwam de ontwikkeling van betrouwbare uurwerken uiterst moeizaam op gang. Eerst in de 18e eeuw, nadat Christiaan Huygens in de 17e eeuw daartoe de stoot had gegeven door zijn ontwikkeling van het principe van het isochronisme, werden door Harrison in Engeland uurwerken gekonstrueerd, die op zee hun bruikbaarheid bewezen. De huidige elektronische plaatsbepalingssystemen zijn in nog sterkere mate afhankelijk van een nauwkeurige tijdmeting. De spectaculaire vorderingen van de laatste deccennia - die culmineerden in de realisering van een praktische atoomklok - hebben een tijdmeting mogelijk gemaakt, die aan vrijwel alle eisen van de navigator voldoet. Verdere verbetering in de plaatsbepaling wordt belemmerd door de grillige gedragingen van atmosfeer en ionosfeer bij de voortplanting van radiogolven. Het gebruik van navigatiesatellieten kan deze hindernis goeddeels wegnemen, zij het ten koste van de continuïteit van de waarneming. De periodieke plaatsbepaling (eens in de ± 2 uur) maakt het noodzakelijk tussen de waarnemingen te vertrouwen op het gegist bestek of andere minder nauwkeurige plaatsbepalingssystemen. Prof. Goldbohm ging daarna in op de plaats die radar inneemt bij het opvangen van de sterke uitbreiding van het lucht- en scheepvaartverkeer. Zonder radar zou de huidige verkeersintensiteit ondenkbaar zijn. Toch is de radarinformatie, zoals wij die kennen, nog niet wat de navigator zich wenst. Met name bij het voorkomen van aanvaringen in drukke vaarwateren doen zich nog veel problemen voor. De inschakeling van het rekentuig is - ofschoon van grote betekenis - niet alleen zaligmakend. Verder onderzoek is gewenst om de doeleigenschappen en identificatie van schepen beter te beheersen. Een verbetering in de huidige situatie kan verwacht worden door de installatie van moderne walradarsystemen langs de vaarwateren met intensief verkeer, zoals het Kanaal. De in Europa langs de grote rivieren en in havens beschikbare walradarsystemen hebben hun nut wel bewezen, al dreigen ze snel te verouderen. De urgentie voor beleidsbeslissingen terzake is hoog, gezien de gevaren die ons bedreigen in de vorm van zeer grote schepen met gevaarlijke lading. Het stemt daarom tot voldoening, dat recentelijk door de verantwoordelijke ministers eindelijk een stuurgroep van het Rijk en de Gemeente Rotterdam is ingesteld om de vernieuwing van het walradarsysteem Waterweg in goede banen te leiden.

Spreker beëindigde zijn rede met de hoop uit te spreken, dat hij aan de vorming van een deskundig kader van ingenieurs in de elektronische navigatie, die ook begrip hebben voor de behoeften van de navigator, een nuttige bijdrage zal kunnen leveren.

LEDENMUTATIES

Voorgestelde leden

Ing. W. Baars, Mauritsplantsoen 24, Rijnsburg.
Ir. R. Brouwer, Bateweg 49, Woubrugge.
Ir. F.J. van Engelshoven, Romeinenstraat 2, Tilburg.
Ir. H.F. van Glabbeek, Tartinistraat 14, Eindhoven.
Ing. P.J. Nuhoff, Händelhof 33, Alphen aan de Rijn.

Nieuwe leden

Ir. J. van Egmond, Montessorilaan 17, Zeist.
Ir. A.W.M. van den Enden, Swidbertstraat 20, Waalre.

Nieuwe adressen van leden

Ir. D. Beekman, Vlietstraat 37, Klaaswaal.
Ir. F.E. van Bochove, Catharinahoeve 20, Gouda.
J.H.M. den Bremer, Marezatenstraat 18, Apeldoorn.
Prof. dr. H. Bremmer, Verlengde Slotlaan 32-3, Zeist.
Ir. L.J.M. Janssen, Driehuizerkerkweg 63, Driehuis.
Ir. L.P. Ligthart, Croesinghplein 55, Zoetermeer.
Ir. H.Th. van Looij, Northgodreef 17, Noordwijk aan Zee.
Ir. Tj. van der Meulen, De Dissel 29, Laren N.H.
Ir. R.W. Okkes, Munnikenpark 8, Leiderdorp.
Ir. J.F.J. Spee, Kozakkenberg 19, Zoetermeer.
Ir. J. Starreveld, Bremweg 5, Huizen N.H.
Ir. A.P. Verlijsdonk, Vondelstraat 26, Nuenen.
Ir. J.J. de Waal, Bonefaciuslaan 111, Hilversum.

Overleden

J. Houtsmuller, Van Alkemadelaan 634, Den Haag.
Prof.ir. L.H.M. Huydts, Marathonstraat 6, Bergen op Zoom.

Tijdschrift van het Nederlands Electronica- en Radiogenootschap

Inhoud

deel 40 - nr. 1/2 - 1975

druk: HET ZUIDEN Eindhoven